PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Selectividad para la sustentabilidad de pesquerías demersales

Contexto y avances en las pesquerías de *Merluccius gayi* y *Merluccius hubbsi*

Dante Queirolo Palma
Editor

© Dante Queirolo, (Editor) 2011

Inscripción N° 208.985
ISBN 978-956-17-0500-5

Tirada: 300 ejemplares
Derechos Reservados

Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Calle 12 de Febrero 187, Valparaíso
Teléfono: 227 3087 – Fax: 227 3429
E.mail: euvsa@ucv.cl
www.euv.cl

Dirección de Arte: Guido Olivares S.
Diseño: Mauricio Guerra P.
Asistente de Diseño: Alejandra Larraín R.
Corrección de Pruebas: Osvaldo Oliva P.

Impresos xxxxxx

HECHO EN CHILE

Agradecimientos

El presente libro resume la dedicación de muchas personas a la sustentabilidad de las pesquerías en Sudamérica, quienes quisieron compartir su conocimiento en el Primer Seminario Internacional “Selectividad para la Sustentabilidad de Pesquerías Demersales”. A todos ellos mi mayor gratitud.

Sin duda, el apoyo permanente y trabajo conjunto de todos quienes conforman el Laboratorio de Tecnología Pesquera (TecPes) de la Escuela de Ciencias del Mar (ECM) ha sido fundamental para la edición de este libro. En especial, quisiera agradecer a Felipe por su perseverancia y motivación, y a José por su colaboración incondicional en todas las etapas. A Erick, Mauricio, Ivonne, Roberto, Víctor y Gonzalo, muchas gracias por su valioso trabajo. También agradezco a Don Teófilo Melo por compartir su experiencia y conocimiento sobre tecnología pesquera, y por permitirnos hacer y crecer.

Agradezco el apoyo y estímulo de los profesores de la ECM de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso tanto para realizar este libro como para cursar mi Doctorado, quienes además asumieron mis obligaciones académicas y docentes. Mi gratitud por las gestiones realizadas a Don Gabriel Yany G., Decano de Facultad de Recursos Naturales, y a Don Guillermo Martínez G., Director de la ECM. Así también, mi agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso por el financiamiento otorgado.

Quiero agradecer especialmente a mi esposa Ivonne y a mis hijos Trinidad y Emilio, por su tiempo, cariño, alegría y apoyo incondicional. A mis padres Vittorio y Gilda, y a toda la familia, muchas gracias por todo.

Valparaíso, Agosto de 2011

Presentación

En Sudamérica se distribuyen tres importantes especies de interés pesquero del género Merluccidae, como son *Merluccius hubbsi* (Marini 1933), *Merluccius australis* (Hutton 1872) y *Merluccius gayi* (Guichenot 1848), esta última dividida en dos subespecies *Merluccius gayi gayi* (Guichenot 1848) y *Merluccius gayi peruanus* (Ginsburg 1954), todas ellas siendo capturadas mayoritariamente por flotas arrastreras.

En las últimas décadas se ha intensificado el esfuerzo por conocer y mejorar la selectividad de los artes de arrastre, fundamentalmente sobre *M. hubbsi* y *M. gayi*, con el objetivo de contribuir a la explotación sustentable de cada *stock*. Para ello, se ha contado con el esfuerzo de los gobiernos, de centros de investigación y de algunos armadores que reconocen la necesidad de avanzar responsablemente en la extracción de los recursos. Así, en la actualidad es posible disponer de una fuente importante de conocimiento técnico y científico que ha permitido sustentar diversas regulaciones en Argentina, Perú y Chile, junto con servir de base para futuros desafíos de investigación en esta materia.

Este libro está orientado entonces a las pesquerías de merluza Argentina (*M. hubbsi*) en el Atlántico sudoccidental, y merluza común (*M. gayi gayi*) y merluza peruana (*M. gayi peruanus*) en el Pacífico sudoriental (Figura 1). Los trabajos que se exponen aquí fueron presentados en el Seminario Internacional “Selectividad para la sustentabilidad de pesquerías demersales”, organizado por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y realizado en octubre de 2009 en la ciudad de Viña del Mar.

Figura 1. Distribución de merluzas (*M. gayi peruanus*, *M. gayi gayi* y *M. hubbsi*) en Sudamérica.

Es fundamental reconocer que la selectividad no tiene mayor sentido sin el contexto de cada pesquería, esto es, su historia y situación actual, desde donde deben nacer los requerimientos hacia los artes de pesca en cuanto a la necesidad de mejorar tanto la selección por tamaños como la selección de especies. Es deseable entonces que existan objetivos de manejo plausibles y explícitos en cada pesquería a partir de los cuales se focalicen los esfuerzos de investigación para evaluar los resultados y recomendar mejoras. Así, las estrategias asociadas a la selectividad de los artes de pesca deben estar en sintonía con el estado de los recursos, adaptándose o reemplazándose en función a la dinámica de cada pesquería.

Si bien los mayores esfuerzos de investigación se han centrado en reducir la captura de peces inmaduros, también se debe prestar atención a la reducción del impacto sobre otras especies que habitan junto a los recursos objetivo. La fauna incidental, conocida también como *bycatch*, es una de las mayores preocupaciones de las pesquerías mundiales por el rol que cumple cada especie en el ecosistema. Aunque a los ojos de muchos puede tratarse de especies sin valor comercial, su valor bio-ecológico merece ser respetado.

Es importante destacar que estas pesquerías han presentado cambios importantes en la abundancia durante su historia extractiva, atravesando delicados estados de situación en algunos períodos. Con todo, las capturas de estas merluzas (*M. hubbsi*, *M. gayi gayi* y *M. gayi peruanus*) representaron en la última década el 35% del total de merluzas (*hakes*) capturadas a nivel mundial (Figura 2), considerándose entonces como una fuente relevante de pesca blanca para consumo humano directo. Anteriormente, en 1996, la suma de sus capturas llegó a 927 mil ton, representando el 52% del total mundial de merluzas, que si bien probablemente no sea posible mantener capturas tan elevadas, ayuda a comprender su importancia y la necesidad de asegurar su sustentabilidad.

La intención de este libro es resumir el estado del conocimiento sobre aspectos vinculados a la selectividad de los artes de arrastre y algunas estrategias adoptadas para mejorar el desempeño de la actividad, aportando información relevante del contexto de las pesquerías de merluzas de Sudamérica. Esperamos que los trabajos que se presentan a continuación sean una valiosa contribución para el desarrollo de las actividades extractivas en los respectivos países, sirviendo de base e incentivo para futuras investigaciones en el ámbito de la tecnología pesquera.

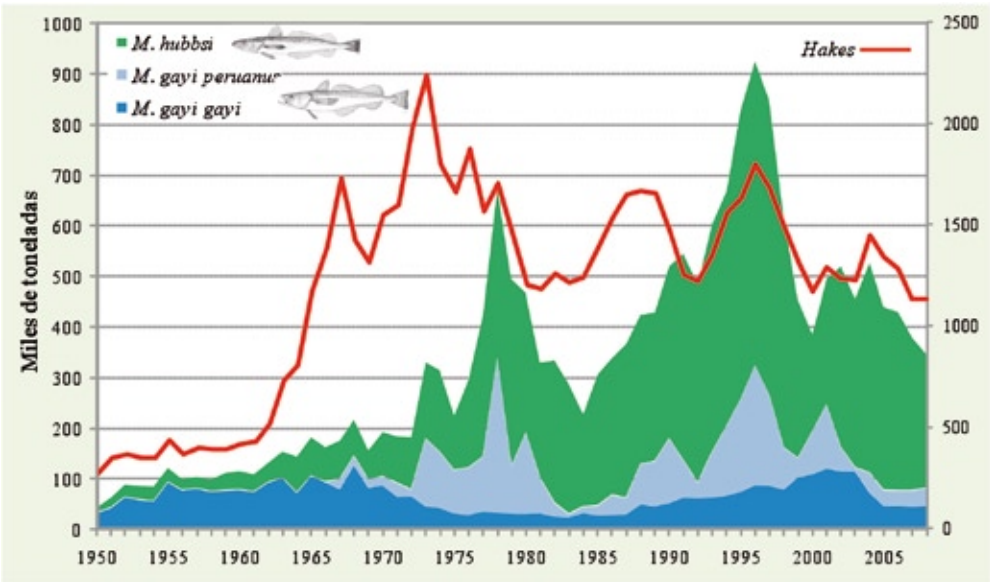

Figura 2. Estadísticas FAO de desembarque de merluzas (*M. hubbsi, M. gayi peruanus* y *M. gayi gayi*) entre 1950 y 2008. A modo de referencia, se presenta la captura mundial de merluzas en el eje secundario.

Contenido

Consideraciones para el éxito selectivo de artes de arrastre
Felipe Hurtado, Dante Queirolo, Erick Gaete, Mauricio Ahumada,
José Merino, Ivonne Montenegro, Víctor Zamora & Roberto Escobar 11

Situación de la pesquería de merluza (*Merluccius hubbsi*) y objetivos de selectividad
Marta A. Renzi, Betina A. Santos & María F. Villarino 45

Dispositivos de selectividad aplicados a la merluza (*Merluccius hubbsi*) como especie acompañante y especie objetivo, en la pesquería Argentina
Ricardo Roth, Julio García & Rubén Ercoli 57

Situación de la pesquería de merluza (*Merluccius gayi peruanus*)
Carlos Salazar, Julio Alarcón, Edward Barriga, Germán Chacón,
Francisco Ganoza & Rodolfo Cornejo 71

Experiencias de selectividad a la talla en la captura de merluza (*Merluccius gayi peruanus*)
Carlos Salazar, Francisco Ganoza, Julio Alarcón, Germán Chacón
& Rodolfo Cornejo 77

Evolución de la biomasa de merluza común (*Merluccius gayi gayi*) y composición de las capturas en lances de identificación
Sergio Lillo V. & Esteban Molina G..... 97

Fauna concurrente en la pesquería de merluza común (*Merluccius gayi gayi*)
en Chile centro-sur
Rubén Alarcón M., Carmen Montecino & Arnaldo Zúñiga..... 109

La pesquería de merluza común (*Merluccius gayi gayi*): un enfoque ecotrófico
Julio Lamilla Gómez 141

Experiencias de selectividad en la pesquería de merluza común (*Merluccius gayi gayi*)
Dante Queirolo, Felipe Hurtado, Erick Gaete, Mauricio Ahumada
Ivonne Montenegro, Víctor Zamora, José Merino & Roberto Escobar 151

Programa de Vigilancia de la Operación de la Flota (PVOF) de merluza común (*Merluccius gayi gayi*): Protocolo de pesca responsable de la flota demersal industrial de la zona centro-sur
Rubén Alarcón M. & Arnaldo Zúñiga 163

Consideraciones para el éxito selectivo de artes de arrastre

FELIPE HURTADO*, DANTE QUEIROLO, ERICK GAETE, MAURICIO AHUMADA,
ROBERTO ESCOBAR, JOSÉ MERINO, IVONNE MONTENEGRO & VÍCTOR ZAMORA
Laboratorio de Tecnología Pesquera, Escuela de Ciencias del Mar,
Facultad de Recursos Naturales, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile
* felipe.hurtado@ucv.cl

1. INTRODUCCION

Un problema en muchas pesquerías a nivel mundial es la elevada captura y descarte de ejemplares inmaduros antes que tengan la oportunidad de reproducirse o alcanzar su tamaño óptimo en términos de rendimiento sustentable. Una parte importante del descarte mundial de peces son pequeños juveniles de especies de importancia comercial, los cuales si pudieran crecer permitirían aumentos de rendimientos significativos. Así también, existe una pérdida biológica importante debido a la captura incidental de especies no objetivo o bycatch, siendo en la actualidad uno de los objetivos principales de la administración pesquera (Suuronen, 2005).

La clave para desarrollar estrategias efectivas en una pesquería en particular, requiere una comprensión responsable de la naturaleza y el alcance del problema en dicha pesquería, antes que se adopte cualquier medida de administración. Se debe tener claridad que la solución no puede ser alcanzada sólo con administradores o científicos. Los usuarios poseen un conocimiento práctico único de los artes de pesca, fondos marinos y realidad económica de las pesquerías. La información que ellos pueden proveer, junto con la de todos los otros actores, es vital para alcanzar soluciones viables y costo-efectivas que permitan reducir el bycatch y ayudar a conservar los stocks de peces. Las soluciones varían entre pesquerías y regiones, y un mismo dispositivo o método de pesca que funciona apropiadamente en un área no necesariamente trabaja bien en otras áreas, incluso pueden existir diferentes resultados entre estaciones (Glass, 2000).

Es necesario considerar que el aumento de la presión de pesca hace necesario disminuir la mortalidad no objetivo, y una forma de lograr este objetivo es fomentar entre los pescadores el uso de artes de pesca más selectivos para reducir el descarte de peces juveniles (Graham & Kynoch, 2001). El conocimiento de la selectividad a la talla de los artes de pesca que operan sobre un recurso específico, permite al evaluador conocer, mediante la aplicación de un modelo específico, cuál es la vulnerabilidad (selectividad), ya sea por edades o por tallas, a que está siendo sometida la población objeto de explotación pesquera, y si los artes de pesca son efectivamente selectivos (Gálvez *et al.*, 1996).

Las propiedades de selectividad del arte de arrastre pueden variar en función a diversos elementos, algunos de ellos son además de la forma y el tamaño de malla, el claro de malla, el coeficiente de abertura de la malla y el desempeño de la red durante el arrastre, por las variaciones temporales y espaciales (Özbilgin *et al.,* 2006), por el tipo y tamaño del buque (Bohl, 1980; Tschernij & Holst, 1999; Tschernij & Suuronen, 2002), la configuración y extensión del copo (Reeves *et al*., 1992), configuración del borlón (Engås & Godø, 1989; Walsh, 1992) y un conjunto de otros factores ambientales, operativos y variaciones de diseño (Wi-

leman *et al.,* 1996; Tschernij & Suuronen, 2002).

Glass (2000) señala algunas alternativas para facilitar el escape y aumentar la selección, las que corresponden a modificaciones del arte de arrastre utilizando patrones de comportamiento observados. Para esto es necesario utilizar herramientas de observación directa que funcionen a profundidades y niveles de luz donde opera la flota comercial sobre los recursos objetivo (Graham *et al.,* 2004), de tal manera de conocer el comportamiento real de las especies que se desea seleccionar. Así, el desarrollo de tecnologías de filmación submarina ha proporcionado oportunidades de observaciones *in situ* del comportamiento de los peces y sus respuestas frente al arrastre (Rose, 1993; Walsh & William, 1993; Glass & Wardle, 1995a), permitiendo observar variaciones intra e interespecíficas de comportamiento (Wardle & He, 1988; Videler & Wardle, 1991; Main & Sangster, 1981; Wardle, 1989; Watson, 1989; Popper & Carlson, 1998).

En general, la pesca selectiva tiene un gran potencial para reducir el bycatch, pero esto sólo puede justificarse si un número significativo de peces escapados logra sobrevivir, lo cual debería ser el enfoque principal de cualquier sistema de selección de captura. Suuronen (2005) establece que son muchos los factores que afectan la sobrevivencia de los peces escapados desde artes de pesca y pocos estudios han explicado adecuadamente el rango de stress, herida y mortalidad que pueden ocurrir cuándo el pez escapa del copo bajo condiciones de pesca comercial.

El objetivo del presente trabajo es resumir parte importante del estado del arte sobre los factores que deben considerarse en estudios de selectividad. Se incluyen aspectos vinculados al comportamiento de las especies, en cuanto a los estímulos producidos por el buque-arte y las respuestas que se han observado en peces. Así también, se detallan las características del arte de pesca que pueden incidir en la selectividad. Por último, se entrega un resumen de aspectos asociados a la sobrevivencia de peces que escapan del arrastre. Los ejemplos mencionados en este trabajo no corresponden a merluzas, sin embargo se cuidó proporcionar información principalmente de gádidos.

2. ESTÍMULOS Y TIPOS DE RESPUESTA DE LA FAUNA ÍCTICA

2.1. Revisión de los estímulos generados por el arte y el buque

Los artes de pesca de arrastre durante el proceso de captura generan diversos estímulos que están condicionados por la velocidad de arrastre, el estado de mar y la relación buque-arte. Principalmente el arte de arrastre genera estímulos visuales y auditivos, provocando cambios en el comportamiento especie-específico. Los componentes del arte de arrastre como las malletas, estándares, cables de cala, portalones, estructuras intermedias, cadenas, borlones y red, generan durante su operación estímulos que derivan en sonidos, turbulencias, turbidez y obstáculos (móviles) (Foster *et al.,* 1981). Se han realizado estudios relacionados a la reacción de los peces a los distintos componentes de un arte de pesca y los variados estímulos que éstos generan, de manera que se pueda determinar el o los sentidos (visión, tacto, audición y/u olfato) utilizados por los peces y sus comportamientos de respuesta (Main & Sangster, 1981).

En particular, el sonido del motor de las embarcaciones que están realizando un lance o simplemente navegando, puede ser escuchado por los peces más allá de la posibilidad de visualizarlas. En agua claras y en profundidades no más allá de los 40 metros los peces podrían distinguir incluso una silueta en la superficie. A grandes distancias el barco será percibido por los peces por los sonidos que éste emite; se sabe que estos sonidos pueden hacer que los peces cambien de profundidad, acercándose más al fondo marino (Wardle, 1993). Aunque los buques y artes de pesca raramente son vistos por los peces, el sonido que éstos producen son sentidos por los peces debido a los diferentes rangos de sonido que se producen en el agua (Hawkins, 1973).

A medida que el sonido de remolque del buque comienza a disminuir, un nuevo sonido proveniente de los portalones comienza a crecer. Este sonido es generado por el paso y golpes de los portalones sobre el fondo marino, variando de acuerdo al tipo de fondo y las características propias del portalón. Las observaciones realizadas en peces cerca del área de los portalones sugieren que el

rango de visibilidad que existe en ese momento, determinará la distancia a la cual los peces reaccionan al portalón. Por ejemplo, en condiciones de baja visibilidad, se puede observar a los peces nadando cerca de los portalones y solo reaccionan para evitar un choque, en cambio en aguas claras, se ha visto que los peces reaccionan a una distancia lejos de los portalones, agrupándose hacia el centro evitando cualquier contacto con las puertas (Wardle, 1993).

Main & Sangster (1981) postulan que los estímulos generados por la barrera de sedimento (fondos blandos) desprendido por el paso de los portalones sobre el fondo marino, es más importante que otros estímulos generados simultáneamente, específicamente referido a las ondas sonoras. Ahora bien, estos autores establecen que portalones con una alta eficiencia hidrodinámica generan una nube de sedimento estrecha y de baja densidad en comparación a portalones con menor eficiencia hidrodinámica.

Desde el punto de vista del estímulo sonoro, las estructuras o componentes flexibles del arte de pesca como los cables de cala, malletas, estándares, cadenas, entre otros, generan flujos turbulentos en su superficie y vibraciones, que de acuerdo con la velocidad, su composición, el diámetro y su longitud puede alcanzar un amplio rango de frecuencia, mayor que el de audición de los peces, lo que hace que estos puedan percibir sonidos incluso a distancias mayores de 80 m. Desde el punto de vista de la intensidad del estímulo sonoro, los fondos de tipo rocoso generan frecuencias de sonido altamente perceptibles por los peces (Korotkov, 1984).

En la boca de la red, si la velocidad de remolque lo permite, los peces tienden a nadar en la misma dirección que el arrastre, tratando de mantenerse por delante del borlón (Main & Sangster, 1981). Sin embargo, hay especies como el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*), el eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) y el carbonero (*Pollachius virens*) que también pueden enfrentar al borlón, intentando el escape por debajo, aun cuando existe dependencia de esta conducta respecto a las talla de los peces (Ingólfsson & Jørgensen, 2006). En particular, en bacalao del Pacífico (Gadus macrocephalus) (Munro *et al*., 1997) y en bacalao del Atlántico (Engås & Godø, 1989; Walsh, 1992) el escape observado es inversamente proporcional a la longitud de los peces. El comportamiento de búsqueda de la parte inferior de la red por parte del bacalao es el principal factor determinante de su captura en las redes de arrastre (Figura 1), ya que un gran porcentaje podría fácilmente escapar a través de las grandes mallas de los paneles de escape en la parte superior de la red, sin embargo no lo hacen (Madsen *et al*., 2006).

Otro estímulo visual relevante es generado por la red, especialmente con el grado de contraste en el color entre paños que se utilizan en su construcción, estímulo que los peces pueden aprovechar favorablemente para el proceso de escape a través de paneles de diferentes colores (Wardle,

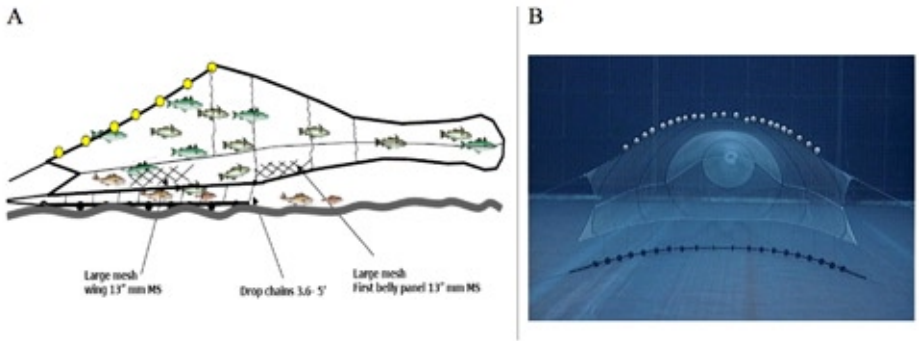

Figura 1. A) Dibujo conceptual de la captura de eglefino (haddock) con la relinga inferior despegada del fondo, favoreciendo el escape de bacalao (cod), peces planos y fauna bentónica por la parte inferior. B) Vista frontal de la boca de la red en tanque de prueba (He, 2005).

1983). Este comportamiento puede variar si por ejemplo se cambian los colores de los paneles a un color fuerte u oscuro, bajo estas condiciones se puede observar a los peces nadando en el centro y evitando las partes oscuras. Por ejemplo, este tipo de comportamiento ha llevado a colocar un trozo de paño oscuro justo por delante de los dispositivos de escape, y así los peces lo evitan y se dirigen hacia el dispositivo, permitiendo que aquellos peces más pequeños pasen a través de las mallas (Glass & Wardle, 1995b). Entonces, creándole al pez una ilusión visual de un bloqueo en la red es posible estimularlo para que reaccionen y pasen a través de las ventanas de escape (Glass, 2000).

2.2. Revisión de la respuesta de los peces frente a los estímulos

En general, el conocimiento del comportamiento de peces no es exhaustivo, no obstante se ha realizado un avance sobre la materia desde la Primera Conferencia de la FAO en 1969. Parte importante de la investigación se ha centrado en conocer el comportamiento y su relación con el desempeño del arte de pesca, siendo la tendencia reciente, trabajar sobre reacciones específicas y distintivas para cada especie. Los peces son animales complejos que muestran un amplio repertorio de respuestas a los estímulos naturales y antropogénicos. Estos animales multisensoriales son capaces de recibir y transmitir diferentes y variadas señales, y son capaces de aprender, estresarse, comunicarse y sentir dolor. Es necesario recordar esta complejidad cuando se desarrollan hipótesis, diseños de experimentos y la ejecución de los estudios. No se puede hablar sólo de respuestas de los peces al sonido, por ejemplo al ruido de los buques o sonidos producto de movimientos sísmicos, porque las reacciones envuelven otros sentidos y deben ser consideradas también las respuestas al medio ambiente (Jones *et al*., 2004).

La información sobre el comportamiento de los peces y la geometría de la red es necesaria con el fin de evaluar la eficiencia de captura del arte, y para el diseño y aplicación de sistemas de selectividad (Ona, 1989). Las observaciones del comportamiento de peces y crustáceos en redes de arrastre mediante diferentes métodos indican la existencia de diferencias significativas en el comportamiento entre especies y al interior de las mismas, las que se relacionan generalmente con su habilidad de nado, en función del tamaño del pez, anatomía, fisiología y temperatura del medio (Watson, 1989).

Uno de los componentes básicos del comportamiento natural (innato) de los peces está asociado a los movimientos, especialmente a la natación, y en particular, a la velocidad. Se destaca en este contexto la velocidad de escape para peces demersales o necto-bentónicos con valores del orden de 10 BL/s (Body Lenght/second), mientras que el rango para velocidades de crucero oscila entre 2 y 3 BL/s para agregaciones y cardúmenes (Wardle, 1977). Los peces demersales suelen huir del centro de perturbación en un plano horizontal hacia abajo, a velocidades de hasta 6 BL/s (tiende a disminuir en individuos grandes). Por su parte, los peces bentónicos presentan una velocidad de escape levemente inferior, de hasta 5 BL/s (Bjordal, 2005).

Kim & Wardle (2003) mediante filmaciones submarinas, analizaron que los movimientos de los peces pueden ser descritos a través de mediciones de espacio y tiempo por cuatro parámetros: velocidad de nado, aceleración, velocidad angular y la distancia de un estímulo como por ejemplo un panel de red. Estos cuatro parámetros son utilizados para identificar las características de una típica respuesta optomotora y una respuesta errática. Una respuesta optomotora es fácil de reconocer, ya que los peces se mantienen en pausa o avanzando junto con el arte de pesca, en contraste con la respuesta errática que se reconoce en aquellos peces que muestran movimientos irregulares e impredecibles (Harden-Jones, 1963; Kim & Wardle, 2003) (Figura 2).

Jones *et al*. (2008) estudiaron el comportamiento del eglefino y también dividieron el comportamiento en optomotor y errático de la natación. La mantención del comportamiento optomotor es más pronunciada cuando la densidad es alta y/o el flujo de agua interno es bajo o a velocidades bajas de arrastre. La respuesta optomotora fue el comportamiento más común observado, incrementado su frecuencia con el incremento de la densidad de los peces. Los factores que determinan si un pez tiene una respuesta optomotora o errática en una situación particular puede ser una combinación de

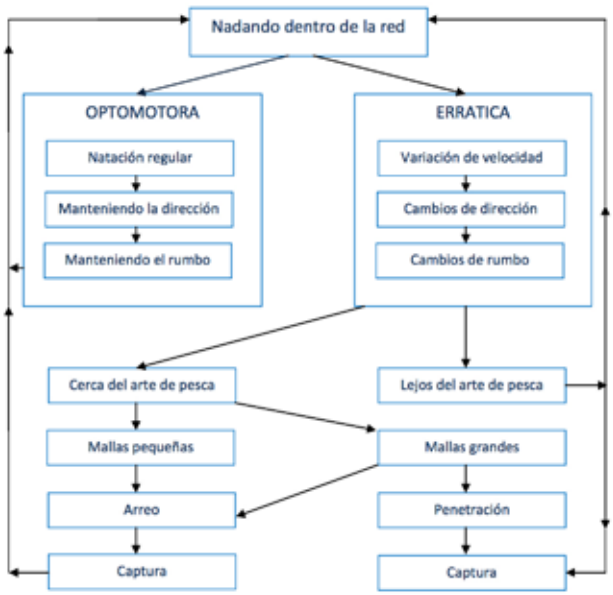

Figura 2. Resumen de respuestas optomotoras y/o erráticas de los peces frente a un lance de pesca de arrastre.

detalles tanto de estímulos como habilidades del pez. Algunos estímulos pueden ser modificados por varios parámetros que se pueden medir y/o modificar tales como el nivel de la luz, el ángulo de vista de la parte trasera de la red, el rango de visibilidad y contraste de un objeto (Kim & Wardle, 1998), condiciones del agua, sonidos y flujo del agua (Kim, 1997).

A baja densidad antes de la acumulación de la captura, el pez tiene un comportamiento más errático, con una mayor variación en la orientación y el comportamiento de natación, que en cualquier otro momento (Jones *et al*., 2008). Este comportamiento puede igualarse al observado por Engås *et al*. (1998) en la parte anterior del copo. Los escapes se concentran en las áreas donde las mallas estaban más abiertas en la "fila" justo delante de la captura. La tasa de escape de la red fue generalmente mayor a mayores velocidades de arrastre y bajas densidades (Jones *et al*., 2008), pero no necesariamente es una regla general para todas las especies.

El comportamiento de la agregación o cardumen se verá afectado por el sistema de pesca de arrastre, tanto por su capacidad de arreo, como por la velocidad de captura y por la dirección de arrastre, que se ven afectados por la táctica de pesca. Los peces al ser arreados a la trayectoria de la red, independiente del grado de agregación inicial, usualmente se estratifican al llegar a la boca de la red, luego de su reacción refleja inicial. La forma hidrodinámica del pez, la boca supera o ínfera, el tipo de nadado y la conformación muscular marcan la diferencia, encontrándose especies que se pegarán al fondo (<1 m), otras se levantarán de este (>3 m) y otros cercanos a este (1-2 m), lo que permitiría mejorar por la vía tecnológica la selectividad específica (Main & Sangster, 1981) (Figura 3).

Al interior de una red de arrastre en movimiento se pueden generar áreas de aguas turbulentas, especialmente cerca de objetos como dispositivos de reducción de fauna acompañante (BRD's), los cuales interrumpen o alteran los flujos normales del agua. Los peces demersales con respuesta innata bien desarrollada, pueden sentir o detectar estas áreas de cambios de velocidad, alineándose en el sentido de éstos flujos, y eventualmente escapando por las salidas que proveen los BRD's mientras continúa el arrastre. Steele *et al*. (2002) explican que un gran porcentaje de los peces que logran

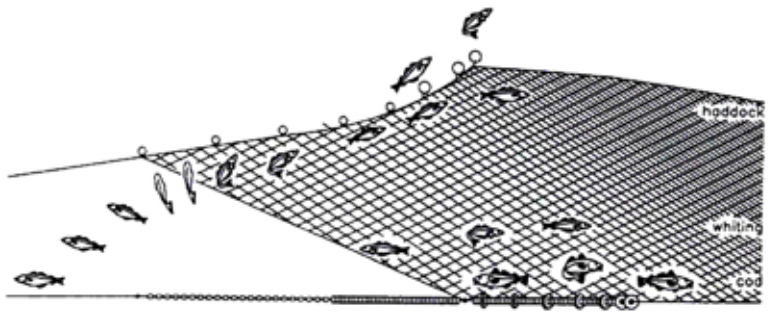

Figura 3. Diferencias en el comportamiento de ingreso a las redes de arrastre de bacalao (cod), merlán (whiting) y eglefino (haddock) observadas mediante filmaciones submarinas (Wardle, 1986; modificado de Main & Sangster, 1981).

escapar en las redes equipadas con BRD's son peces demersales y muy probablemente utilizan su alta sensibilidad para ayudar en el escape.

Broadhurst *et al*. (1999) señalan que un pequeño incremento relativo en el desplazamiento del agua hacia delante puede ser suficiente para: 1) ayudar a peces pequeños a nadar hacia delante y atravesar las mallas cuadradas de una ventana de escape y/o, 2) permitirles reducir sus frecuencias de coleteo y mantener su posición en el copo por un período más largo, incrementando su probabilidad de escape aleatorio a través de la ventana de escape y/o, 3) estimular los receptores de la línea lateral y así favorecer su escape. Estos autores destacan también que sin observaciones directas de la natación de los peces al interior del copo, es difícil determinar el comportamiento específico para el escape.

Las barreras sónicas y visuales, producen en una primera etapa una reacción refleja de escape gobernada por la forma de la especie, y que para el caso de la pesca con redes de arrastre de fondo esta puede darse hacia abajo o hacia los lados. Las barreras sónicas producen agregaciones gobernadas por la presión sobre la línea lateral (Glass & Wardle, 1989). Al asustarse los peces, muestran una reacción rápida a estímulos intermitentes o que aparecen repentinamente, pudiendo corresponder a una reacción refleja o condicionada. Esta reacción es diferente para individuos y cardúmenes; en el primer caso da inicio a una reacción refleja, mientras que en el segundo implica algún tipo de decisión de masa, ya sea movimientos verticales o fragmentación.

Es importante considerar que el mar es un ambiente ruidoso, producto de fuentes internas y externas, entre estas las producidas por los buques, sistema propulsor y el arte de pesca. La audición de los peces está en un rango de baja frecuencia (50-550 hz). Fay & Popper (1980) señalan que la reacción a un estímulo sónico se puede esperar cuando el sonido es entre un 5 y 15% superior al nivel del ambiente de fondo. Así, los sonidos de las embarcaciones y los generados por el arte incidirán en las reacciones de los peces, los cuales tenderán a nadar para alejarse de la fuente, hacia los lados o la misma dirección de ésta, cambiando la velocidad de nado, junto también a un cambio de profundidad, comportamiento típico en el arrastre de mediagua.

Ahora bien, en su intento de escape los peces pueden imprimir un velocidad mayor (velocidad de escape) pero por distancia finitas, debiendo realizar una alternancia entre ésta y la de crucero para no caer exhaustos en un corto tiempo. Cuando las velocidades de arrastre son mayores, los peces no pueden mantener la alternancia, siendo capturados por el cambio axial de rumbo (Wardle, 1977). De este modo, se reconoce que el nivel de cansancio de los peces es uno de los factores que influye en su escape haciendo que se vayan hacia el copo. De acuerdo a lo planteado por Broadhurst & Kennelly (1996), se cree que los peces son acorralados cerca de la sección anterior del copo, alterando el balance normal del cardumen, iniciando una respuesta de escape hacia los lados y parte superior de la red a través de los paneles de mallas cuadradas.

Con la ayuda de las observaciones submarinas se puede concluir que muchos de los peces de forma redonda muestran una respuesta optomotora, sosteniendo un nado constante, hasta el momento en que se cansan y entran al copo. En otros peces se han observado un comportamiento errático o de pánico, caracterizado por una conducta irregular, con cambios bruscos en la velocidad y dirección de nado, escapando a través de las mallas aquellos que pueden hacerlo. El comportamiento de escape involuntario en respuesta a estímulos de la red se puede explicar a través de la visión, flujos de agua y habilidad de nado (Main & Sangster, 1991; Videler & Wardle, 1991; Kim & Wardle, 1997; Breen *et al*., 2004; Winger *et al*., 2000; Winger *et al*., 2004) y puede incluir memoria y aprendizaje (Soria *et al*., 1993; Özbilgin & Glass 2004). En consecuencia, el comportamiento de los peces en el copo es un importante elemento que puede afectar a la selectividad (Chen *et al*., 1991; Omoto *et al*., 1998; O'Neill *et al*., 2006; He, 2007; Herrmann & O'Neill, 2006). Así, se reconoce que algunos peces reaccionan inmediatamente a los cambios de penetración de la luz y reorientan su natación en dirección hacia las mallas abiertas en la salida del dispositivo de escape, es decir, el pez trata de escapar tan pronto como entra en contacto con éste (Ferro *et al*. 2008).

En la pesquería de arrastre del sureste de Australia, Piasente *et al*. (2004) observaron mediante filmaciones submarinas el comportamiento de varias especies. Para clasificar su comportamiento definieron 10 categorías basadas en la natación de los peces, dada por la dirección y velocidad relativa con respecto a la velocidad de arrastre. Cada categoría fue descrita como un "evento" o un "estado". Un "evento" es una acción discreta e instantánea, tales como un nado brusco o un giro repentino. Por su parte, un "estado" corresponde a una acción continua y de larga duración, como nadar a velocidad crucero (Lehner, 1979; Martin & Bateson, 1986).

Según Piasente *et al*. (2004), *Platycephalus bassensis* usa una velocidad máxima de natación (ruptura) en diferentes etapas del proceso de su captura en la red de arrastre: para escapar, para acercarse a la red de arrastre y para entrar en el copo. Sin embargo, la ruptura se deriva de un metabolismo anaeróbico, proceso que conduce al agotamiento rápido, por lo que tiende a concluir en un breve período de tiempo, generalmente menos de 15 segundos en función de la especie, el tamaño y condición del pez, y temperatura del agua (Webb, 1975).

2.3. Condiciones fisiológicas y del medio que influyen en la selectividad

Las respuestas de algunas especies son generalmente particulares y determinadas por factores tales como la visión, habilidades de percepción auditiva, capacidad natatoria, morfología y condición fisiológica del pez (Kim & Wardle, 2003). Las observaciones del comportamiento de peces y crustáceos en redes de arrastre mediante diferentes métodos indican la existencia de diferencias significativas en el comportamiento entre especies, y al interior de las mismas especies a distintos tamaños, las que se relacionan generalmente con la habilidad de nado de las especies, la cual está en función del tamaño, anatomía, fisiología y temperatura (Watson, 1989).

El ambiente de los peces es rara vez estático, y las condiciones del ambiente acuático pueden variar significativamente a lo largo del tiempo, desde una variabilidad horaria, tal como la marea, a una variabilidad estacional, por ejemplo, la temperatura del agua y las corrientes, hasta una variabilidad de décadas como la ocurrencia de eventos de El Niño y cambios de régimen. Estos cambios frecuentemente afectan la dinámica de las poblaciones de peces, dando como resultado una variabilidad en las tasas de crecimiento, el reclutamiento, las tasas de mortalidad natural o cualquier combinación de éstas. Esta variabilidad también puede afectar la disponibilidad de recursos pesqueros para un tipo específico de arte de pesca, afectando no sólo el éxito de captura, sino también la forma en que el científico pesquero debe interpretar la información sobre capturas y tasas de captura de la pesquería (Cochrane, 2005). Los peces están por lo tanto sometidos a variaciones y perturbaciones en las condiciones del medio, tales como cambios de temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, luz, corrientes, etc., los que afectarían en conjunto a las respuestas de éstos frente a los artes de pesca.

Los peces escapan más fácilmente de las redes de arrastre en ciertas épocas del año, por lo que es necesario determinar cuando son más vulnerables y así la selectividad de los artes se podría modificar durante del año (Ferro *et al*., 2008). Esto se ha validado por estudios de selectividad realizados con los mismos copos y sobre la misma especie, determinando alta variabilidad en los resultados (Özbilgin *et al*., 2007). En este sentido, Tschernij *et al*. (1996) observó en una temporada de pesca variaciones de una magnitud significativamente importante de la longitud de primera captura (L50) en bacalao con experimentos de pesca realizados con los mismos artes de arrastre y en la mismos caladeros de pesca. Debido a que el bacalao tiene un mayor factor de condición en ciertos momentos del año, se sugirió que el factor de condición, en lugar del perímetro, era más importante para la capacidad de escapar a través de las mallas (Tschernij & Suuronen, 2002). La misma argumentación fue usada por Özbilgin *et al*., (2006) quien encontró que el factor de condición era el mayor factor de selección, puntualmente cuando el eglefino estaba en mejores condiciones debido al volumen máximo de tejido somático, y cuando la temperatura del agua estaba en su punto más alto (Özbilgin *et al*., 2006; Ferro *et al*., 2008).

Özbilgin *et al*. (2005a) informaron de una tendencia decreciente en la selectividad del copo para besugo (*Diplodus annularis*) en el mar Egeo a partir del verano hasta la primavera, pero no a un nivel estadísticamente significativo. Sin embargo, Özbilgin *et al*. (2006) señalan que la selectividad del copo en eglefino en el mar del norte aumenta al final del periodo de alimentación de verano, que coincidió con el punto más alto de la temperatura anual del agua. Por otra parte, la selectividad se redujo en el periodo posterior a la etapa de desove, que tiene lugar en el rango de temperatura baja del agua en abril.

Cabe destacar que la resistencia y velocidad de nado de un pez está cercanamente relacionada a la temperatura y a su tamaño (Wardle, 1983; He, 1993; Videler, 1993; Özbilgin, 2002), y en la boca de la red su velocidad dependerá de la velocidad de arrastre del arte (Wardle, 1976). Cuando ocurre un cambio en la temperatura del agua, se espera que afecte a la velocidad de escape de los peces, y por lo tanto a la selectividad del arte de pesca (Özbilgin & Wardle, 2002). Estos autores comprobaron lo anterior realizando experiencias en diferentes estaciones del año filmando al eglefino, el cual tuvo diferentes comportamientos de escape tratando de salir del copo.

Özbilgin & Wardle (2002) señalan que los pequeños cambios en la temperatura del agua pueden influir en la habilidad de los peces para realizar ciertos movimientos. Las redes de arrastre son remolcadas prácticamente a la misma velocidad, indistintamente la estación del año, pero la temperatura

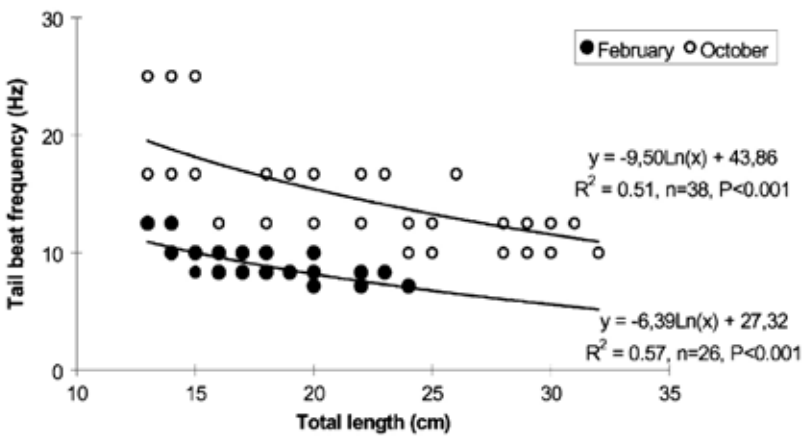

Figura 4. Diferencias en la frecuencia de movimiento de la cola usada por eglefino en una red de arrastre en dos períodos distintos; febrero (6,5ºC) y octubre (12,8ºC) (Özbilgin & Wardle, 2002).

alterará el rendimiento de los umbrales de natación de los peces. Al reducir la temperatura también se reducirá la capacidad de un pez para moverse, y por sobre todo pasar o no a través de las mallas del copo (Figura 4). Esto podría dar lugar a que el pez trate de hacer varios intentos de escapar pero siempre limitado por sus propias restricciones y la temperatura del agua en las diferentes estaciones del año. Luego, mientras más cálida sea el agua, se espera un aumento de la selectividad en el copo (Özbilgin *et al*., 2007).

La posibilidad de capturar a un pez dependerá de sus movimientos, que aunque muy diferentes en tamaño, rara vea son al azar. Actividades rutinarias, tales como alimentarse, desovar, agregarse, descansar y evadir predadores son usualmente relacionadas a cambios en el medio ambiente, como la estación de año, estado de la marea y niveles de luz. La mayoría de los peces pueden dividirse en tres grupos de alimentación: diurnos, nocturnos o crepusculares. A veces se produce una flexibilidad lo que refleja el oportunismo en muchas especies. Los peces que forrajean son más activos, y este comportamiento determina la disponibilidad a determinados artes de pesca (Jones *et al*., 2004).

La luz afecta las migraciones nictamerales de los peces, así como la orientación de los cardúmenes. Se estima que la distancia normal de avistamiento está en el rango de 5 a 10 m. La relación entre las capturas de peces día–noche es difícil de generalizar, pues está relacionada al comportamiento endógeno, la disponibilidad al arte y la evasión a la red utilizando la visión, la audición y el sentido táctil (Hobson *et al*., 1981). La evasión del arte y el escape visual decrece con una intensidad de luz bajo, y cuando los niveles de luz están por sobre el umbral de visión, hay una secuencia de eventos de la conducta de los peces principalmente limitado por la natación de éstos lo que hace que sea más fácil su ingreso al copo (Wardle, 1993). Por lo tanto, el aumento en la intensidad de la luz mejora la capacidad de los peces para escapar del arrastre, y en especial a baja velocidad.

Cuando los niveles de luz son suficientes, se cree que la visión es la principal modalidad sensorial (Jones *et al*., 2008). Entonces el escape de los peces está dado por su poder de natación y posiblemente la agudeza visual (Douglas & Hawryshyn, 1990). Los resultados de diversos estudios muestran que la visión es esencial para que los peces estén atentos y activos, orientados a escapar cuando encuentren la posibilidad (Gabr *et al*., 2007a). Sin visión el pez no puede determinar la tasa de acercamiento de los componentes de la red y en consecuencia no pueden decidir la velocidad de natación necesaria para escapar y solo responde con una reacción de alarma cuando se pone en contacto con los componentes de la red (Glass & Wardle, 1989; Walsh & Hickey, 1993). Cabe señalar que bajo el agua un objeto visible está determinado por la relación entre contraste y brillo, y los ojos de un pez son tan buenos como los del ser humano en la detección del contraste y el brillo (Kim & Wardle, 1998) (Figura 5). Se ha observado que el comportamiento en el área de arreo responde a la visión de los peces de los componentes de arte de arrastre, tratando de evitar la red que es visible, y en su lugar eligen una ruta que consideran menos peligrosa (Glass *et al*., 1993, 1995; Jones *et al*., 2004).

Como se ha mencionado anteriormente, hay otros aspectos que también pueden influir en la selectividad, como son la forma del cuerpo y el tamaño (Efanov *et al*., 1987; Wileman *et al*., 1996). Relaciones morfométricas relativamente diferentes en las dimensiones del cuerpo (longitud, altura, anchura y grosor) deben ser consideradas (Stergiou & Karpouzi, 2003; Mendes *et al*., 2006; Santos *et al*., 2006), especialmente para mejorar la selectividad de los artes (Broadhurst *et al*., 2006) y usar esta información para estimar el tamaño y formas adecuadas. Para las distintas especies de peces, la sección de la circunferencia del cuerpo y su perímetro son consideradas como los principales rasgos morfológicos determinantes de la retención de un determinado tamaño de malla (Hamley, 1975; Wileman *et al*., 1996; Reis & Pawson, 1992; Hovgard & Lassen, 2000). En consecuencia el perímetro y sus dimensiones asociadas (altura y ancho) se consideran parámetros críticos en la comprensión del proceso de selección de los artes (Efanov *et al*., 1987; Reis & Pawson, 1999).

Ahora bien, Özbilgin *et al*. (2006) sugieren que dentro de un determinado periodo, el pez siempre tiene un efecto en la selectividad ya sea por

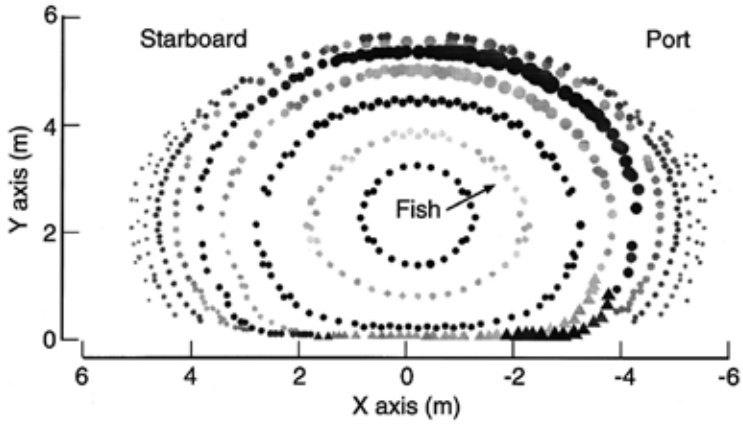

Figura 5. Predicción de los estímulos visuales de un pez en una red de arrastre a 50 m de profundidad. La flecha indica la dirección de visión del pez. Los círculos rellenos señalan contraste negativo y los triángulos rellenos señalan contraste positivo. Su tamaño indica intensidad relativa del estímulo visual (Kim & Wardle, 1998).

condiciones biológicas (estado de madurez) o condiciones físicas (volumen máximo de tejido somático). En ambos casos hay un aumento de la circunferencia del pez aun cuando el nivel de retención varía, siendo mayor la retención cuando hay un crecimiento por el estado de madurez. El cambio en la circunferencia del pez también puede asociarse al proceso de descompresión, ya que algunos gádidos como eglefinos y merlán (*Merlangius merlangus*), debido a su fisiología no pueden evacuar el exceso de volumen de gas de la vejiga cuando se expone a descompresión (Alexander, 1993), lo cual afecta la selectividad al modificar su volumen corporal (Madsen *et al*., 2008). Este aumento de volumen reflejado también en un aumento en el grado de volumen estomacal, o producto de las variaciones estacionales que afectan a la condición del pez, parecen afectar a la selectividad de la malla romboidal más que a la selectividad de las grillas (Jørgensen *et al*., 2006).

El volumen muscular de los peces también afecta sobre la potencia, velocidad máxima y capacidad de natación, factores significativos en la determinación de la selección y del escape. En el copo un intento de escape por parte de los peces requiere una potente capacidad de natación, en particular en la etapa de penetración de la malla (Wardle, 1980; He, 1993; Breen *et al*., 2004). Por lo tanto, un aumento de la masa muscular aumenta las probabilidades de escape de los peces (Ferro *et al*., 2008) aunque en ello incidirá la condición reproductiva. Así por ejemplo, las hembras pueden quedar agotadas después del desove, hecho que puede determinar una dificultad mayor para escapar del copo, aumentando su presencia en las capturas (Ferro *et al*., 2008).

3. CARACTERÍSTICAS DEL ARTE QUE INCIDEN EN LA SELECTIVIDAD

3.1. Tamaño de malla

La mayoría de los estudios de selectividad de los artes de pesca se centran en la selección a la talla (Madsen, 2007), reconociéndose que las mejoras se pueden lograr mediante cambios de tamaño de malla o en la geometría de las mallas del copo, donde la probabilidad de encuentro y posterior fuga a través de una malla es alta (Yanase *et al*., 2007) (Figura 6). Es así como el tamaño mínimo de malla del copo puede determinarse en función a la talla de primera captura (L50) de la especie conforme a los objetivos de selección del copo, dado que existe una íntima relación con la morfología transversal de los peces. Probablemente esto requerirá diferentes copos según las especies a capturar, considerando las diferencias en la talla de madurez sexual, la tasa de crecimiento y otras características biológicas (He, 2007).

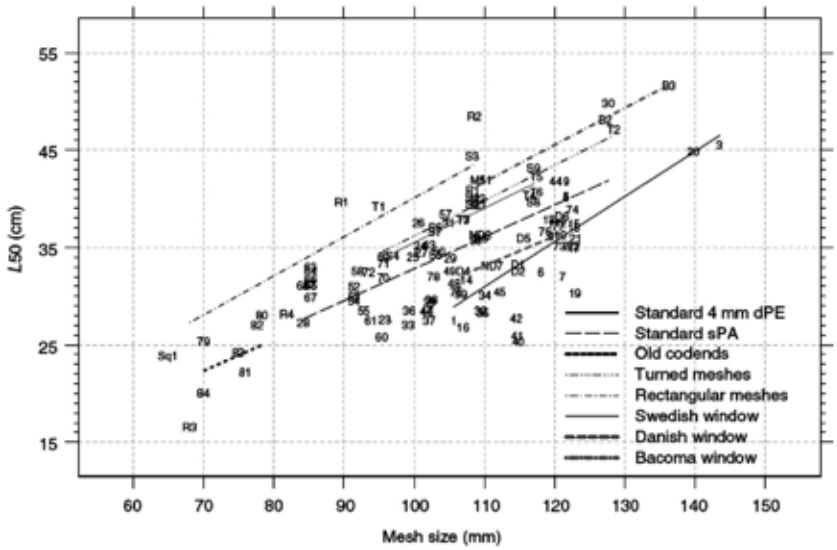

Figura 6. Efecto del tamaño de malla en diversos estudios de selectividad de bacalao (*Gadus morhua*) (Madsen, 2007).

Para muchos de los artes de pesca de arrastre, la selección de los peces ocurre típicamente en el túnel y copo, y es en gran medida producto de su morfología en relación a la disponibilidad de la abertura de las mallas (Wileman *et al*., 1996; Madsen *et al*., 2006; Herrmann *et al*., 2007). Observaciones submarinas durante la pesca de arrastre han demostraron que las mallas romboidales del copo se distorsionan formando un bulbo por la presión del flujo de agua y por la acumulación de captura (Stewart & Robertson, 1985; O'Neill & Kynoch, 1996). Muchos peces escapan por la abertura de las mallas en la parte delantera de la captura, sin embargo, solo una pequeña cantidad de mallas tienen una abertura lo suficientemente amplia como para permitir el escape de los peces (Pope *et al*., 1975; Stewart & Robertson, 1985; Robertson & Stewart, 1988; Wileman *et al*., 1996).

3.2. Configuración de la malla

3.2.1. Copos de mallas cuadradas

El diseño de las mallas del copo se ha establecido como un importante factor que determina la selectividad de las redes de arrastre (MacLennan, 1992). La aplicación de una configuración adecuada de malla debe garantizar que éstas se encuentren abiertas en el proceso de arrastre para facilitar el escape de individuos inmaduros (Tosunoglu *et al*., 2008). La malla romboidal tiene la tendencia a cerrarse en algunas secciones de la red, lo que reduce su eficacia selectiva en comparación con mallas cuadradas que permanecen siempre abiertas durante el arrastre (Robertson, 1986; Isaksen & Valdemarsen 1986; Robertson & Stewart 1988; Fonteyne & M'Rabet, 1992; Suuronen & Millar 1992; Walsh *et al*., 1992; Lehman *et al*., 1993; Halliday *et al*., 1999; Broadhurst, 2000).

Para la merluza, y en menor medida para el bacalao y la brótula (*Phycis blennoides*), hay una mejora significativa en la selectividad a la talla alcanzada a través de cambios en el tipo de malla (de romboidal a cuadrada) (Figura 7), aunque para las distintas pesquerías pueden existir soluciones diferentes (Bahamon *et al*., 2006; Bahamon *et al*., 2007a). Se reconoce que la longitud de retención (L50) aumenta claramente en la mayoría de especies cuando se utiliza un copo de malla cuadrada, escapando más individuos bajo talla mínima de desembarque (Moderhak & Wienbeck, 2003; Ondines *et al*., 2006). Sin embargo, en peces planos los copos de malla cuadrada tienen una longitud de retención (L50) menor en comparación a mallas romboidales del copo (He, 2007), por tanto con excepción de los peces planos, un cambio en la configuración de la malla afecta positivamente la se-

lectividad. Entonces, los copos de malla cuadrada son típicamente más selectivos en gádidos, pero menos selectivos en peces planos (Robertson, 1989; Walsh *et al*., 1992; Halliday *et al*., 1999), debiéndose analizar caso a caso las posibles soluciones en pesquerías multi-específicas (Bahamon, *et al*., 2006).

Comparativamente, las mallas cuadradas de igual luz de malla que las romboidales, ejercen menor resistencia al avance (Sardà & Bahamon, 2008), y a medida que se llena el copo, estas mallas no se deforman (Catchpole & Revill, 2008). No obstante las ventajas destacadas anteriormente, existen algunas limitaciones de los copos de mallas cuadradas debido a la inestabilidad de los nudos, la poca resistencia al avance que ejerce la red y la consecuente pérdida de maniobrabilidad (Graham *et al*., 2003; Madsen, 2007), hechos que obligan a seleccionar cuidadosamente los materiales usados en su construcción.

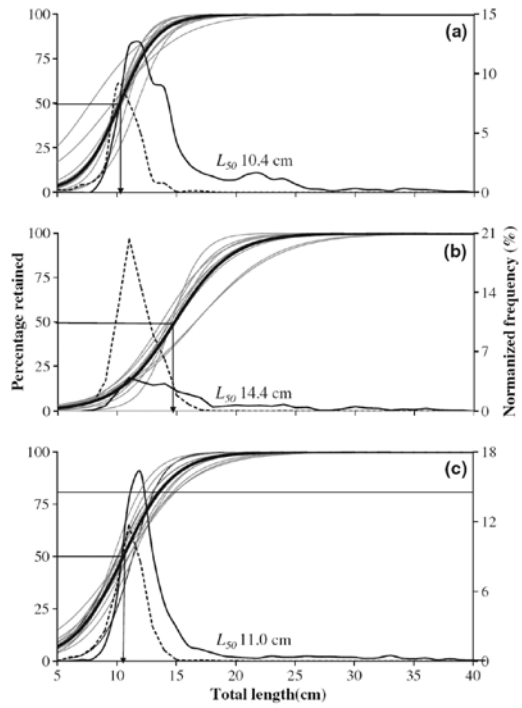

Figura 7. Curvas de selectividad y distribución de frecuencia de talla de merluza (*M. merluccius*) empleando copos de: (a) malla diamante, (b) malla cuadrada, y (c) malla hexagonal (Aydin & Tosunoglu, 2010).

3.2.2. Malla rotada

Las mallas rotadas (o T90) son aquellas mallas romboidales tradicionales que han sido rotadas (giradas) en 90º respecto a la dirección del arrastre, por lo cual la producción de estos paños no requiere ningún cambio en la maquinaria o en la tecnología de fabricación. Los copos rotados pueden ser de poliamida (PA) o polietileno (PE), hilo simple o doble, y ser construidos en uno o dos paneles (Moderhak & Wienbeck, 2003) (Figura 8).

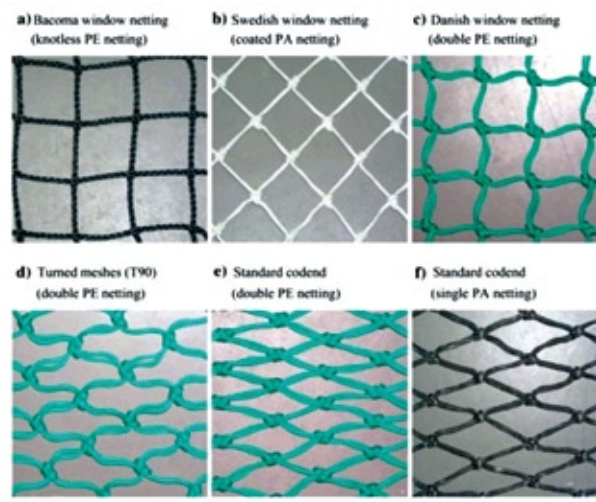
a) Bacoma window netting (knotless PE netting)
b) Swedish window netting (coated PA netting)
c) Danish window netting (double PE netting)
d) Turned meshes (T90) (double PE netting)
e) Standard codend (double PE netting)
f) Standard codend (single PA netting)

Figura 8. Diferentes tipos de paños usados en pesca comercial y experiencias de selectividad (Madsen, 2007).

A los copos de mallas rotadas se les han asignado las siguientes ventajas: i) excelentes propiedades selectivas (marcadas curvas selectivas, bajo by-catch), ii) mejores condiciones de los peces, iii) aumento de las tasas de sobrevivencia, iv) simple construcción, v) bajo precio, vi) estabilidad durante el arrastre, vii) mejor fuerza de tracción, viii) fácil disponibilidad de los paños, ix) disminución del tiempo de operación (Moderhak & Wienbeck, 2003). Madsen & Valentinsson (2010) señalan que los copos T90 pueden incrementar la longitud de retención (L50) al compararlo con un copo similar de malla romboidal (T0), pues esta última configuración genera una resistencia a la abertura que tiende a cerrar las mallas. Al rotar la malla en 90º, el mecanismo se invierte convir-

tiéndose en una malla que tiene una resistencia a cerrarse, aumentando la probabilidad de escape de peces pequeños (Figura 9).

3.3. Materiales

3.3.1. Tipos de materiales

Varias propiedades de los materiales usados en la construcción de las redes pueden influir en la selectividad (Catchpole & Revill, 2008). La mayor propiedad selectiva de los copos de poliamida (PA) comparados con los copos de polietileno (PE) se reconocen hace mucho tiempo (Holden, 1971), ya que el hilo de PA es generalmente menos rígido, tiene menor rugosidad y mayor elasticidad y extensibilidad (Klust, 1982). La mayor capacidad elástica que poseen los copos de PA ha sido considerada como un efecto importante en la mejoras selectividad en redes de arrastre (Ferro & O'Neill 1994; Tokaç *et al*., 2004) (Figura 10). Así también, la construcción de paños sin nudo ha sido descrito como una propiedad relevante en selectividad (Tosunoglu *et al*., 2008).

3.3.2. Grosor de los hilos

El grosor del hilo de las mallas del copo puede influir en la selectividad de varias maneras. Ferro & O'Neill (1994) categorizan los hilos de las redes en términos de la influencia en la selectividad a través de cambios en hidrodinámica del copo, el comportamiento de los peces y los mecanismos de apertura de la malla, concluyendo que el grosor del hilo puede influir en cada uno de estos factores. En particular, Herrmann & O'Neill (2006) señalan que:

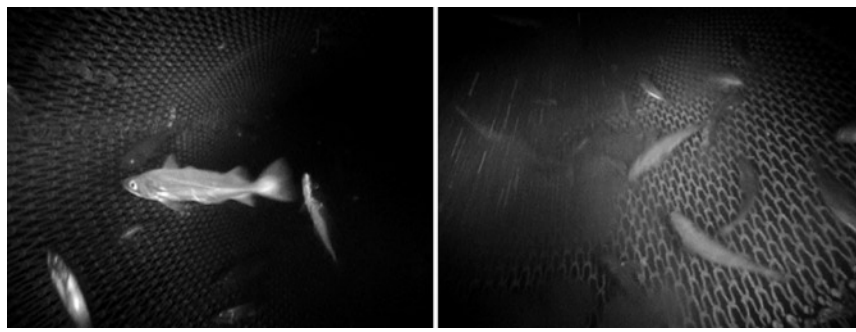

Figura 9. Diferencia en la abertura de las mallas en la captura de merluza (*M. gayi gayi*). A la izquierda un túnel con malla romboidal tradicional y a la derecha con malla rotada T90.

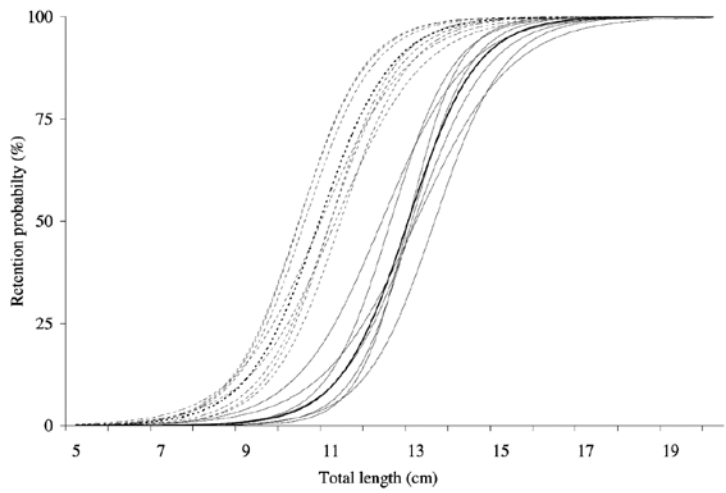

Figura 10. Curvas de selectividad de salmonete (*Mullus barbatus*) empleando mallas de PA de 36 mm (líneas continuas) y de PE de 40 mm (líneas segmentadas) en el copo (Tokaç *et al*., 2004).

(i) la apertura lateral de mallas de hilo grueso será menor por los nudos de la malla; (ii) el aumento de la rigidez de flexión del hilo grueso aumentará la resistencia a la apertura de las mallas; (iii) será más difícil para los peces deformar y escapar a través de mallas más rígidas hechas de hilos gruesos y; (iv) la red hecha de hilos gruesos presentará una mayor barrera visual para los peces que puede disuadirlos de hacer intentos de fuga. Estas sugerencias son similares a las presentadas por Lowry & Robertson, (1996) algunas de las cuales están apoyados por estudios que muestra cómo un aumento de la rigidez de los hilos reduce el diámetro del copo y, por tanto, la apertura lateral de las mallas. El aumento gradual del diámetro de los hilos incide en el grado de deformación lateral de las mallas, afectando en gran proporción a la retención de peces pequeños. El uso de mayores diámetros de hilo determina un aumento de las capturas y una mayor participación relativa de peces pequeños, demostrándose que este factor juega un rol fundamental en la selectividad del arte (Lowry & Robertson 1996; Kynoch *et al*., 1999; Sala et at., 2007; Graham *et al*., 2009).

3.3.3. Visibilidad de los paños

La visibilidad de los paños puede ser utilizado para mejorar el desempeño selectivo en artes de arrastre. Para ello es necesario considerar que la visibilidad varía de acuerdo al diámetro del hilo, el color de los paños y el contraste respecto al entorno (Glass *et al*., 1993; Kim & Wardle, 1998; Catchpole & Revill, 2008). Algunos autores han discutido respecto a la influencia del color de las mallas de un copo en la eficiencia de captura (Polet & Redant, 1994; Jones *et al*., 2004; Revill *et al*., 2007). Así, Glass & Wardle (1995) y Glass *et al*. (1995) han demostrado que el comportamiento natural de los peces dentro de una red puede ser modificado mediante estímulos visuales. Glass (2000) señala que es posible crear una ilusión visual de bloqueo en el túnel para dirigir a los peces hacia los dispositivos de escape, mejorando su desempeño según el color del paño usado (Figura 11). Es importante destacar que los trabajos en esta materia no deben referirse a buscar si un color específico es mejor que otro, ya que los patrones naturales de comportamiento de un pez pueden ser modificados de acuerdo a la capacidad de percepción de patrones y contrastes de los materiales.

3.4. Diseño del arte

3.4.1. Modificaciones mayores de diseño

Se ha realizado un notable avance en algunas pesquerías con el objetivo de evitar la captura incidental de fauna no deseada (particularmente peces). El impedir que dicha fauna no ingrese a la red evita a su vez la obligación de incorporar dispositivos de escape como elementos de mitigación. Por ejemplo, Graham & Ferro (2004) determinaron que la disminución de malletas y estándares reduce la capacidad de arreo del arte junto con disminuir la altura de la red en la boca, facilitando el escape de peces sobre la red (Catchpole & Revill, 2008). La reducción de la longitud de las alas y del cielo, o aumentar el tamaño de las mallas en ciertas secciones debe responder a los patrones de compor-

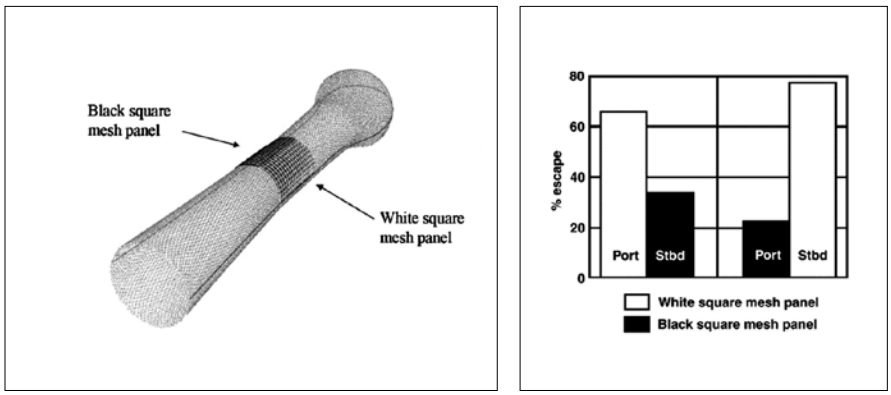

Figura 11. Comparación del escape de peces por efecto del color de los paños, usando una sección del panel de malla cuadrada de color blanco y otra de color negro (Glass, 2000).

tamiento de escape en la sección frontal de la red.

La incorporación de cortes en el diseño de la red de arrastre determina en gran medida el ángulo de entrada de la red, lo cual permite que ciertas especies que se capturan incidentalmente puedan escapar, tal como ha sido descrito por Revill *et al*. (2006) en el caso del eglefino y merlán, ambos en calidad de fauna acompañante. Los ángulos de corte, tamaños de malla, solidez, estructuración y velocidades de arrastre afectan la generación de turbulencias, ya sea en los bordes frontales o internos, con lo cual usualmente magnifican el proceso de generación de sonidos, y en los casos de redes de fondo, la turbidez. Los cambios bruscos de tamaño de malla y en los ángulos de corte dan cuenta de las principales áreas de formación de turbulencias internas debido a los cambios de flujo asociados a las distintas velocidades del agua. La región del túnel y copo, dependiendo de la velocidad de arrastre y de la solidez, crean una zona de reducción de velocidad, precedida usualmente por un área de baja turbulencia, que puede ser empleada con fines de selectividad inter e intraespecífica (Main & Sangter, 1981).

Beutel *et al*. (2006) evaluaron un nuevo diseño de red de arrastre de fondo con grandes mallas en la sección frontal (alas y cuerpos delanteros), en los cuatro paneles que la conforman. Esta red, denominada “Eliminator Trawl” (Figura 12), fue diseñada para capturar eglefino y reducir las capturas incidentales de bacalao, así como de otras especies, logrando explotar las diferencias en el comportamiento de los peces y así mejorar significativamente la selectividad entre especies. Cabe señalar que los creadores de esta red fueron premiados en 2007 por el concurso Smart Gear (WWF) como reconocimiento a la innovación que permite reducir la captura no deseada.

Otros diseños de redes han sido denominados “cutaway” y “topless” (Figura 13), cuya sección superior ha sido modificada para ser menos eficaz en la captura de determinadas especies de peces, manteniendo al mismo tiempo los rendimientos de captura de las especies objetivo (Thomsen, 1993; Revill *et al*., 2006; He *et al*., 2007; Chosid *et al*., 2008). Esta alternativa se basa en aprovechar el comportamiento vertical de algunas especies en una sección específica de la red, específicamente en la boca (Main & Sangster, 1985; Wardle, 1986; Dunlin, 1998).

Figura 12. Detalle de la red “Eliminator trawl” (Beutel *et al*., 2006).

Figura 13. Redes de arrastre sin cielo en tanques de prueba. A la izquierda, detalle de la boca de una red “cutaway” (Arkley & Dunlin, 2003). A la derecha, vista de la red “topless” (He *et al*., 2007).

3.4.2. Configuración del copo

En el caso de los gádidos, existe una relación inversa entre el número de mallas del copo y la selectividad del arte (Broadhurst & Kennelly, 1996). La reducción del número de mallas en la circunferencia del copo de 100 a 80, y finalmente a 60 mallas, provocó un aumento gradual en la longitud de retención (L50) en el eglefino (O'Neill *et al*., 2008). Resultados similares fueron obtenidos por Reeves *et al*. (1992), Galbraith *et al*. (1994) y Robertson & Ferro (1988) que mostraron que las reducciones del número de mallas en la circunferencia del copo podría aumentar la longitud de retención (L50) en gádidos.

El efecto contrario se produjo con la duplicación de la circunferencia del copo, lo cual redujo la longitud de retención (L50) en merlán y reflejó una tendencia general de reducción de la selección en otras especies. La variación del efecto selectivo por el aumento de la circunferencia del copo entre las distintas especies probablemente refleja las diferencias entre los perfiles de cuerpo, tamaño y/o comportamiento (Graham *et al*., 2009). Además, el diseño de la red, con más holgura en los paneles laterales de red, ocasiona que las mallas se cierren, jugando un papel importante en la penetración de los peces a través de la malla (Tosunoglu *et al*., 2008).

Herrmann *et al*. (2007) estimaron mediante simulación que la reducción en 50% de la circunferencia del copo contribuye por si solo al aumento de la longitud de retención (L50) en gádidos, siendo significativamente mayor respecto a la malla romboidal tradicional y a las mallas rotadas (T90). Similares resultados fueron obtenidos por Sala *et al*. (2006) en *Mullus barbatus*, observándose que la reducción del número de mallas en la circunferencia del copo es más beneficiosa que el aumento del tamaño de la malla para mejorar la selectividad a la talla. El uso de cabos restrictores en el perímetro del copo ("cinturones") también puede menoscabar el efecto selectivo de las mallas (Herrmann *et al*., 2006) (Figura 14).

3.5. Dispositivos de selección

Los impactos negativos debido a la captura de ejemplares juveniles de la especie objetivo y de otras especies retenidas como fauna incidental, han motivado muchos esfuerzos por mejorar la selectividad en la pesca de arrastre, tanto en pesquerías de peces como de crustáceos. Las investigaciones se han orientado a la regulación de los tamaños de malla y la incorporación de elementos para la selección, ya sea mediante separación mecánica y/o aprovechando el comportamiento de los organismos para facilitar su escape (Broadhurst, 2000), obviamente basándose siempre en el conocimiento preciso de la composición de la captura (Catchpole & Revill, 2008) (Figura 15).

En particular, los dispositivos de reducción de bycatch (BRD) se clasifican en dos categorías en función de los métodos utilizados para facilitar la selección. La primera categoría incluye diseños que mecánicamente excluyen organismos que son de tamaño más grande (Isaksen *et al*., 1992; Christian & Harrington 1987) o más pequeño (Larsen & Isaksen 1993; Graham *et al*., 2004) que la especie objetivo. Normalmente, estos tipos de BRD son rígidos, posicionándose de manera inclinada al interior de red para separar los individuos por sus diferencias de morfología. La segunda categoría de modificaciones se refiere a los paneles de es-

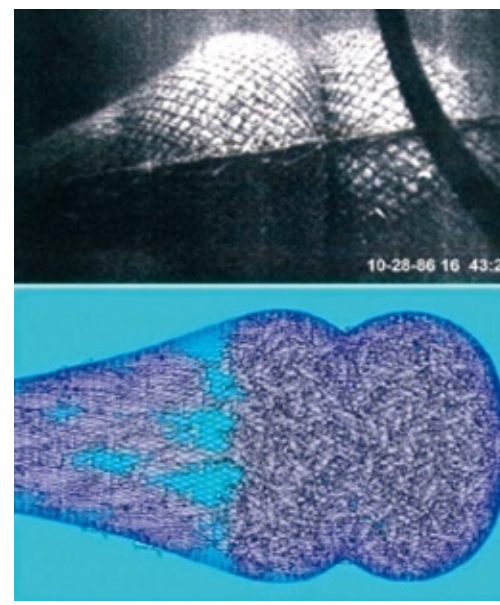

Figura 14. Efecto del uso de cabos restrictores del perímetro del copo (fotografía y simulación) (Herrmann *et al*., 2006).

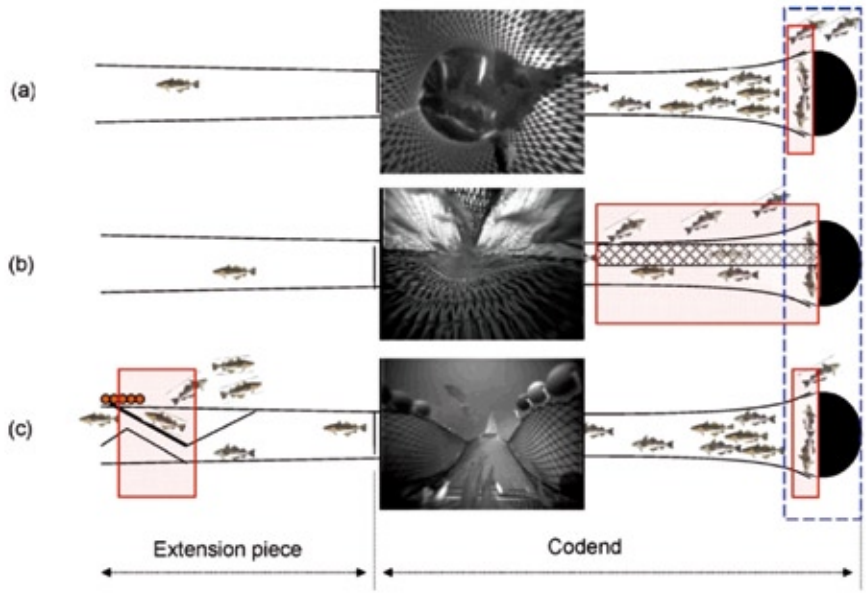

Figura 15. Representación esquemática del mecanismo de escape observado en tres sistemas de selección: (a) mallas diamante, (b) ventana de escape, y (c) grilla de selección (Grimaldo *et al*., 2008).

cape que consisten en aperturas estratégicamente colocadas, diseñadas para explotar las diferencias de comportamiento, usándose para excluir peces similares en tamaño o más pequeños que la especie objetivo (Broadhurst *et al*., 1996; van Marlen, 2003).

Para permitir una reducción más eficaz de las especies no deseadas y el tamaño óptimo de selección para la especie objetivo, la selectividad a la especie debe desarrollarse en conjunto con la selectividad de tamaño (Valdemarsen & Suuronen, 2003; Sardà *et al*., 2004, 2005; Fonseca *et al*., 2005). Para la mayoría de las pesquerías la secuencia lógica para el desarrollo de redes de arrastre selectivas consiste, en primer lugar, en determinar la configuración y el tamaño de la malla en el copo, ya que aquí es donde ocurre la mayor selección en tamaño para las distintas especies (Millar & Fryer, 1999), y a continuación, la utilidad de determinados BRD para afrontar los retos de las capturas incidentales (Broadhurst, 2006). Las grillas, al igual que los paneles de escape, también pueden mejorar la selectividad (Larsen & Isaksen, 1993; Maartens *et al*., 2002), buscando en ambos casos que la selección se produzca antes de entrar en el copo (Grimaldo *et al*., 2009).

3.5.1. Paneles de escape

Los paneles de malla cuadrada son elementos útiles para la selección por comportamiento, pudiéndose usar para el escape del by-catch o bien de peces juveniles de la especie objetivo (Briggs, 1992; Catchpole & Revill, 2008). En estos paneles, las barras de la malla quedan perpendiculares y paralelas a la dirección del arrastre adoptando una forma cuadrada, por lo cual se mantienen más abiertas que las mallas romboidales convencionales del copo (Robertson & Stewart, 1988). Los resultados de diversos estudios indican que las propiedades selectivas en los copos son diferentes tanto para los paneles de malla cuadrada, las ventanas de escape y las mallas romboidales (Robertson & Stewart, 1988; Walsh *et al*., 1992; Dahm *et al*., 1995), concluyéndose que en crustáceos (Armstrong *et al*., 1998) y en gádidos (Graham & Kynoch, 2001; Graham *et al*., 2003; O'Neill *et al*., 2008) estos paneles cumplen un rol importante en la selectividad.

Si bien se han utilizado paneles de mallas cuadradas con éxito para mejorar la selectividad de gádidos (Robertson & Stewart, 1988; Tschernij *et al*., 1996; Madsen *et al*., 1999; Madsen *et al*., 2002), también se ha indicado que la selectividad de los

peces planos es menor en comparación con las mallas romboidales (Walsh *et al*., 1989; Fonteyne & M'Rabet, 1992). Es probable que la morfología aplanada de los peces planos dificulta que penetren las mallas cuadradas (Madsen *et al*., 2006).

Desde una perspectiva práctica, el panel de malla cuadrada es barato y fácil de instalar. Estos paneles pueden ser diseñados para obtener capturas de mayor tamaño, mejorando el flujo de agua (Krag *et al*., 2008), aunque para ello es fundamental estudiar la posición, ya que por ejemplo Broadhurst *et al*. (1999) plantean que los efectos favorables del flujo de agua se logran cerca de la parte final del copo (Figura 16). Así, diversos autores han demostrado que tanto la posición del panel de selección como el tamaño de malla influyen en la selectividad (Graham *et al*., 2003; Madsen *et al*., 2002; Madsen *et al*., 1999; Graham & Kynoch, 2001; Brigg, 1992; Arkley, 1990; O'Neill *et al*., 2006). Ahora bien, la eficacia del panel y su posición en la red dependerá tanto del comportamiento de la especie objetivo como del propio diseño del arte (Graham & Kynoch, 2001; Graham *et al*., 2003; Armstrong *et al*., 1998; O'Neill *et al*., 2006; Graham & Fryer, 2006).

Existe un margen amplio para evaluar la posición en donde deben ir los paneles de malla cuadrada en el cuerpo de la red. La precaución es colocarlos de manera tal que no distorsionen la forma ni el desempeño de la red, pues la malla cuadrada suele ser más rígida y menos flexible que las mallas romboidales y, por lo tanto, las grandes áreas de malla cuadrada pueden no ser prácticas en todos los casos (Revill *et al*., 2007; Catchpole & Revill, 2008). Suuronen *et al*. (2007) señalan que la variabilidad en la selectividad es menor en un copo con una ventana de escape bien diseñada y ubicada en relación a los copos de mallas romboidales. Así también, la selectividad de estos paneles funciona para algunas especies y para otras no produce ningún efecto. En particular, no se espera un efecto del panel sobre los crustáceos debido a su morfología y pobre capacidad de natación, reduciendo las posibilidades de selectividad (Bullough *et al*., 2007). Gabr *et al*. (2007a) afirman que el panel de malla cuadrada puede no ser tan efectivo cuando se utiliza en oscuridad y a una alta velocidad de arrastre, condiciones habituales en la mayoría de las pescas de arrastre, recomendando otros sistemas de selección como por ejemplo grillas de selección (Olla *et al*., 2000; Ryer & Olla 2000; Suuronen, 2005).

3.5.2. Grillas de selección

El desarrollo de la tecnología de selección basado en grillas selectivas se ha llevado a cabo en diferentes partes del mundo para diversos fines (Valdemarsen & Suuronen, 2003) como son para excluir grandes especies protegidas, tales como tiburones y tortugas (Villaseñor, 1997), para permitir el escape de juveniles en pesquerías demersales y pelágicas (Larsen & Isaksen 1993; Suuronen *et al*., 1996; Kvalsik *et al*., 2002, Graham *et al*., 2004), así como simplemente separar determinadas especies de crustáceos, por ejemplo camarones (Isaksen *et al*., 1992; Ercoli *et al*., 1997; Polet, 2002; Graham, 2003).

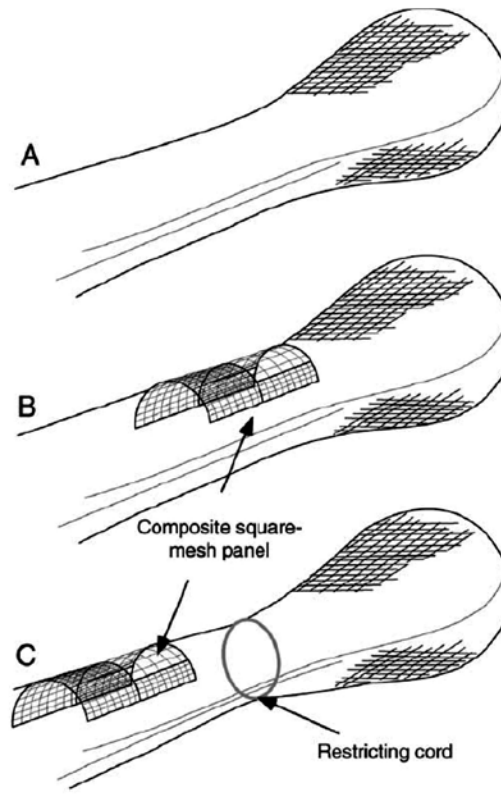

Figura 16. Diagrama de un copo tradicional (A) y de copos con panel compuesto de malla en posición posterior (B) y anterior (C) (Broadhurst *et al*., 2002).

Una de las principales ventajas de las grillas de selección es que su efectividad no depende del comportamiento de reacción de las especies, sino que se basan en el filtrado dinámico de la captura (Robertson & Shanks, 1997), generalmente usando barras de espaciamiento que se mantienen constantes en todo el arrastre, independiente de la velocidad y la captura. Además, toda la captura es forzada al contacto con la rejilla (Sardà *et al*., 2004, 2005, Fonseca *et al*., 2005; Bahamon *et al*., 2007b). Así, los peces pueden ser expulsados sin mayor esfuerzo de manera totalmente pasiva en un proceso de selección muy corto que dura décimas de segundo, lo que debería repercutir positivamente en la supervivencia de los peces. Contrariamente, este proceso en la malla cuadrada puede durar varios minutos y el animal nada estresado cerca de los paños de red hasta que consigue la habilidad suficiente para cambiar el sentido de natación, acertar la luz de la malla y atravesarla para escapar (Lentonen *et al*., 1998). En la mayoría de los casos, esto producirá rozaduras en la piel, posteriores infecciones y por tanto baja supervivencia (Suuronen, 2004).

Se recomienda utilizar la grilla rígida en el inicio del túnel porque va al encuentro de los individuos (Gabr *et al*., 2007a). Una rejilla colocada en el cuerpo posterior del arte, y por delante del copo, pueden ayudar a seleccionar los peces y que éstos abandonen rápidamente el arte por una abertura destinada a tal efecto, antes de llegar al copo. Para que los peces se dirijan hacia la rejilla con la velocidad y densidad adecuada, se puede utilizar un cono de red que proyecta a los peces directamente sobre la rejilla (Sardà & Bahamon, 2008). Del mismo modo, la eficiencia de la selección depende del ángulo de la grilla, y del flujo y velocidad del agua a través de la red (Kvalsvik *et al*., 2006). A diferencia de lo que ocurre cuando se usan mallas romboidales en los copos o paneles de malla cuadrada, la influencia del tamaño de la captura en el funcionamiento de la selectividad del copo se minimiza cuando se usa grilla de selectividad, debido a que la mayoría del proceso de selección se lleva a cabo delante de la zona donde se acumula la captura (Sistiaga *et al*., 2008).

Para optimizar el rendimiento en general de la selectividad, puede ser necesario usar diferentes técnicas en distintas estaciones del año, e incluso entre caladeros, ya que raramente una sola solución funcionará en todas las condiciones. Evidentemente, un mismo tamaño de malla o espaciamiento de la rejilla selectora no es adecuado para todas las especies, siendo demasiado grande para algunas especies y demasiado pequeño para las demás, y podría ser una selección óptima sólo para unas pocas (Sardà *et al*., 2006; Fonseca *et al*., 2007). Por eso, se han experimentado combinaciones de dispositivos que puedan cumplir diferentes roles de manera complementaria durante los lances de pesca. Así, combinando mallas cuadradas en los copos y grillas de selección se ha demostrado una reducción significativa de las capturas bajo talla (Sardà *et al*., 2005, 2006; Bahamon *et al*., 2006; Guijarro & Massutí 2006). Cuando se ocupa una grilla junto con un copo de malla cuadrada se produce un ajuste del rango de tallas encontradas, debido a que la grilla empuja a los grandes hacia afuera y los pequeños salen por las mallas cuadradas del copo (Valentinsson & Ulmestrand, 2008).

Se debe tener presente que no siempre el uso de grillas produce un mejor resultado selectivo, y el éxito en algunas pesquerías no se puede generalizar. Por ejemplo, Kvamme & Isaksen (2004) y Jørgensen *et al*. (2006) compararon directamente las propiedades selectivas de un copo de mallas romboidales de bacalao (*Gadus morhua*) respecto a un copo con grilla rígida (Sort-V) (Figura 17), demostrando que no hay diferencias significativas en términos de selectividad. Así también, si los individuos no deseados son en tamaño igual a la especie objetivo, es difícil excluirlos mediante separación mecánica (Macbeth *et al*., 2007). En algunos casos las grillas son selectivas en tamaño pero no a la especie (Gabr *et al*., 2007a), por lo tanto este dispositivo es menos adecuado para pesquerías mixtas y deben ser específicamente diseñadas para el propósito requerido (Sardà & Bahamon, 2008).

3.6. Influencia de variables relacionadas a la operación

El movimiento del buque también podría jugar un papel preponderante en la selectividad (Pichot *et al*., 2009). En el virado, a pesar del escaso tiempo en que ocurre la reducción de la velocidad, las

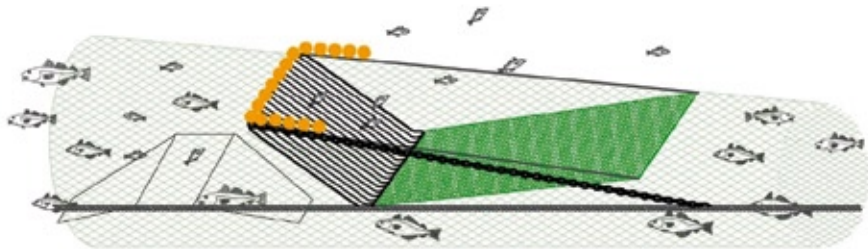

Figura 17. Esquema de la grilla Sort-V (Jørgensen *et al*., 2006).

pulsaciones y movimientos de compensación del copo son susceptibles de promover activamente el comportamiento de escape durante esta fase, realizando las veces de un simple proceso de tamizado. Este efecto se ve incrementado por el estado del mar, el cual tiene un efecto selectivo durante el virado y en cuando la red está llegando a la superficie (Madsen *et al*., 2008; Grimaldo *et al*., 2009). Es probable que esto cause movimientos de pulsación del copo inducida por la acción de la onda de la ola en la superficie del mar (O'Neill *et al*., 2003), produciendo cambios en la apertura de las mallas romboidales. Los movimientos de balanceo del buque y los movimientos pulsantes del copo dan lugar a cambios cíclicos en la apertura de la malla romboidal y la velocidad del agua en el interior del copo, lo que aumenta la probabilidad de fuga de los peces (Madsen *et al*., 2008).

Jones *et al*. (2008) sugieren que la densidad de los peces presentes en el copo y la velocidad de arrastre influyen en la natación y el comportamiento de escape. Las posibilidades de escape de mallas romboidales o paneles de mallas cuadrada son inversamente proporcionales a la velocidad de arrastre, debido al agotamiento de los peces y la pérdida de capacidad natatoria Dahm *et al*. (2002) (Figura 18). Esta velocidad de arrastre en la pesca convencional está orientada a peces adultos, la cual debe de ser superior o igual a su máxima capacidad de natación. Por esto, los juveniles están en inferioridad de condiciones al tener menos capacidad de natación y resistencia que los adultos, por tanto menos capacidad para mantener activamente su posición u orientación para escapar (Gabr *et al*., 2007b).

Dentro de la red, el flujo es más lento debido principalmente a la acumulación de la captura. Se ha estimado que la velocidad del flujo justo antes de la captura es casi cinco veces menor que la velocidad a la entrada de la red, lo cual permite fácilmente a los peces mantener su posición en esta región debido a la reducción del flujo (Pichot *et al*.,

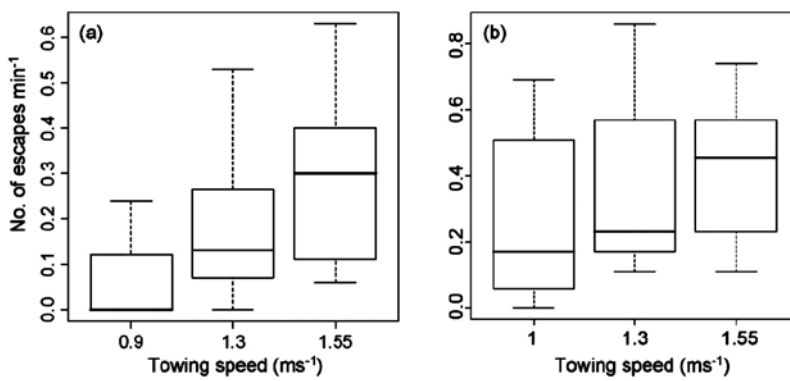

Figura 18. Variación en la tasa de escape a diferentes velocidades de arrastre observada con cámara desde el interior (a) y exterior (b) de la red (Jones *et al*., 2008).

2009). Entonces, el efecto del flujo del agua al interior del copo es importante y puede ser modificado mediante paneles para guiar a los individuos hacia las aberturas de escape (Broadhurst *et al*., 2002). Otro aspecto vinculado con la capacidad natatoria se refiere a la duración de los lances, pues lances largos pueden promover la captura de nadadores fuertes (individuos mayores) que en otras condiciones serían capaces de escapar (Wardle, 1983, 1986), claramente dependiente de tamaño y de la especie (Fonseca *et al*., 2007).

Durante el lance, se ha demostrado que el escape de los peces de los copos se produce en todas las fases del lance, no sólo durante el arrastre en profundidad, sino que también durante el virado y mientras que el copo está en la superficie. Las tasas de escape dependerán del sistema de selección y la fase del lance en que se encuentre (Grimaldo *et al*., 2009), en base a lo cual Madsen *et al*. (2008) evaluaron la fuga de tres especies diferentes de un copo de malla romboidal en tres fases de la operación de pesca: arrastre, virado y en la superficie. Estos autores no encontraron ninguna diferencia en la longitud de retención (L50) para cualquiera de las tres especies en cualquiera de las tres fases. Sin embargo, esta experiencia mostró que la percepción del proceso de selección, que se prevé ocurre en el remolque, debe de ser examinada, ya que un considerable volumen del escape ocurre en el limitado tiempo del virado y en la superficie.

En diversos trabajos se discute el efecto del volumen de captura sobre la configuración del copo y el efecto en la selectividad en peces gadiformes (Figura 19). Algunos autores han determinado que el aumento de captura reduce L50 (Ehrhardt *et al*., 1996; Erickson *et al*., 1996; Tschernij & Holst, 1999; Madsen *et al*., 2002; Grimaldo *et al*., 2007), mientras que otros han determinado el efecto contrario (O'Neill & Kynoch, 1996; Lowry *et al*., 1998; Dahm *et al*., 2002), aunque estos autores destacan que cuando el volumen de captura es muy alto, la selectividad tiende a disminuir. Por su parte, los trabajos de Madsen *et al*. (1998), O'Neill *et al*. (2006) y Grimaldo *et al*. (2008) no obtuvieron resultados concluyentes o bien sólo se aprecia un efecto débil de la captura.

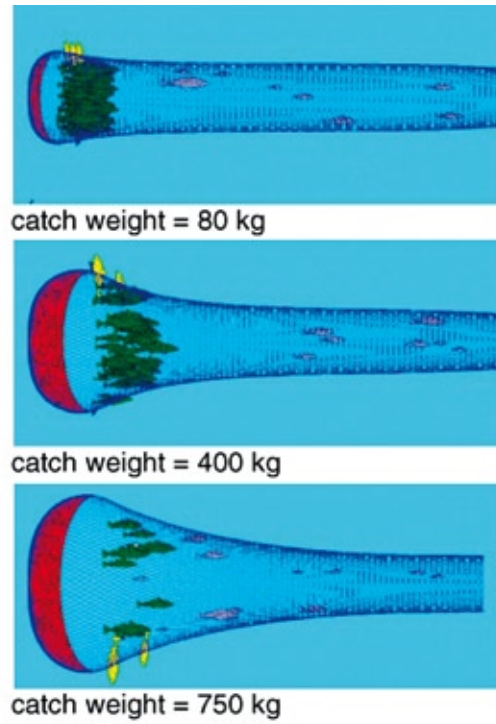

Figura 19. Simulación del cambio en la forma que adopta el copo con distintos volúmenes de captura (Herrmann, 2005).

Erickson *et al*. (1996) señalan que grandes volúmenes de captura puedan bloquear las mallas del copo, resultando en menos potenciales rutas de escape para los peces (Figura 20). A esto se suma que en algunos gádidos como eglefino y merlán el "escape oportunista" es más común que el "escape activo" (Jones *et al*., 2008), lo que reduce la probabilidad de escape a medida que la captura aumenta. Respecto a la tensión-deformación, se reconoce que el incremento en la abertura de las mallas y el cambio en la forma que adopta el copo favorecerían la selección (O'Neill & Kynoch, 1996; Herrmann, 2005; Madsen, 2007). Sin embargo, el aumento del arrastre (drag) puede incrementar la tensión en las barras de las mallas dificultando que los peces puedan escapar (O'Neill *et al*., 2005), o bien pueden resultar dañados condicionando su sobrevivencia post-escape (Breen, 2004). Parece haber consenso en que el aumento de la captura y una mayor velocidad de arrastre producen un aumento en la fuerza resistiva que produce el cierra de las mallas romboidales del copo (Wardle, 1983;

Erickson *et al*., 1996; Campos *et al*., 2003; Herrmann, 2005; Broadhurst, 2006), por lo cual deben ser variables relevantes de considerar en estudios de selectividad (Lowry *et al*., 1998; Madsen *et al*., 1998, 2002; Madsen & Holst 2002).

4. SOBREVIVENCIA

La pesca selectiva tiene un gran potencial para reducir el bycatch y el descarte, pero esto sólo puede justificarse si un número significativo de peces escapados logra sobrevivir, lo cual debería ser el enfoque principal de cualquier sistema de selección de captura. Suuronen (2005) señala que son muchos los factores que afectan la sobrevivencia de los peces escapados desde artes de pesca y pocos estudios han explicado adecuadamente el rango de stress, herida y mortalidad que pueden ocurrir cuándo el pez escapa del copo bajo condiciones de pesca comercial. Principalmente se han efectuado estudios en bacalao y eglefino mostrando baja mortalidad de peces luego del escape a través de mallas y de grillas. Aunque los estudios de sobrevivencia aún son escasos, la evidencia indica una alta tasa de supervivencia de peces demersales después de escapar del arte cuando la liberación se produce a la profundidad de pesca (Bjordal, 2005). En la Figura 21 se presenta un esquema con los principales factores que determinan la sobrevivencia de peces señalados Suuronen (2005), algunos de los cuales se describen también a continuación:

a. Variación especie-específica: En gádidos la mortalidad debida al escape es relativamente baja (e.g. bacalao, eglefino, merlán, carbonero). Diversos autores han observados mortalidad bajas (<3%) del bacalao cuando escapan por el copo (Soldal *et al*., 1993; Suuronen *et al*., 1996a; Suuronen *et al*., 2005; Ingolfsson *et al*., 2002), similar a la mortalidad observada en carbonero (Jacobsen *et al*., 1992; Ingolfsson *et al*., 2002). En eglefino y merlán que escaparon de copos de mallas romboidal de 100 mm, la mortalidad fue menor del 15% (Wileman *et al*., 1999). En diversas especies de peces planos también la mortalidad observada ha sido baja (< 10%) (DeAlteris & Reifsteck, 1993; Robinson *et al*., 1993). Mayor mortalidad (70-100%) se observó en pequeños pelágicos como sardina (Clupea harengus) (Suuronen *et al*., 1996b), aunque otros estudios han mostrado resultados opuestos (Treschev *et al*., 1975; Efanov, 1981). Niveles medios de mortalidad fueron registrados en algunas especies bentopelágicas como el abadejo (*Theragra chalcogramma*) (Suuronen *et al*., 1995; Pikitch *et al*., 2002).

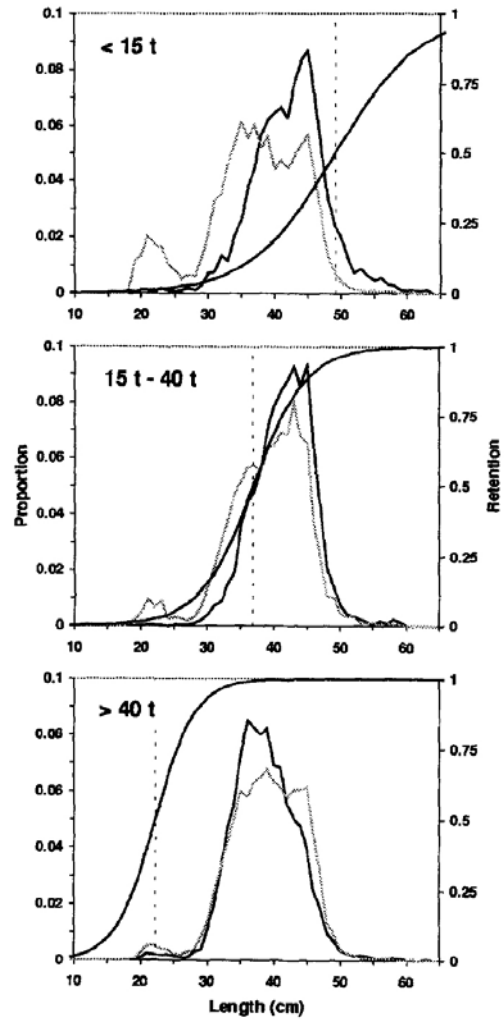

Figura 20. Distribuciones de frecuencia y curvas de selectividad de abadejo con diferentes volúmenes de captura (Erickson *et al*., 1996).

b. Efecto de las mallas: En general existe una correlación inversa entre la tasa de mortalidad y el aumento de malla, lo cual ha sido reportado en varios trabajos (Main & Sangster, 1991; Sangs-

ter *et al*., 1996; Lowry *et al*., 1996; Wileman *et al*, 1999), aunque aún no ha sido demostrado de manera concluyente. Suuronen (2005) señala que si bien el tamaño de malla es potencialmente importante en la supervivencia, se debe reconocer que hay muchos otros factores que afectan en forma simultánea a la supervivencia, como por ejemplo la forma de la malla. En eglefino y merlán las mortalidades son más bajas en copos de malla cuadrada que al usar romboidales tradicionales, a igual tamaño de malla (Main & Sangster, 1990; 1991).

c. Efecto del tamaño de los peces: Los estudios han sido poco concluyentes sobre la mortalidad del escape y el tamaño de los peces, aunque la observación general ha sido que ésta disminuye con el aumento de tamaño según lo indicado por Wileman *et al*. (1999), Lowry *et al*. (1996), Sangster *et al*. (1996), Suuronen *et al*. (1996), Pikitch *et al*. (2002) y Ingólfsson *et al*. (2002). Suuronen (2005) refuerza que existen relaciones complejas entre el tamaño de los peces y la mortalidad por lesiones debido a la captura y escape, y que los peces más grandes parecen sufrir menos lesiones (y menor mortalidad) que los más pequeños debido a su habilidad de natación.

d. Lesiones en la piel: Muy poco se sabe sobre las lesiones inducidas por los artes de pesca, aunque se reconoce que las características abrasivas de los materiales pueden ocasionar lesiones graves durante el arrastre, sobre todo en el copo donde los peces están agotados y hacinados (Suuronen, 2005). Si bien las lesiones menores pueden curar por completo y las lesiones cutáneas abiertas pueden cicatrizar en pocas semanas (Engås *et al*., 1990; Sakanari & Moser, 1986; Bell & Bagshaw, 1985; Jones, 1993), existe el riesgo de infecciones secundarias por bacterias potencialmente patógenas y hongos que pueden provocar la muerte del pez (Bullock & Roberts, 1980; Copland & Willoughby, 1982; Roberts, 1989). Especialmente en aguas más cálidas, las infecciones pueden agravarse y los peces sufrirán problemas osmóticos o septicemia si la infección se generaliza (Mellergaard & Bagge, 1998).

e. Agotamiento por natación: En el caso de artes de arrastre, el stress y cansancio se debe al confinamiento, hacinamiento y ejercicio intenso (Suuronen, 2005). Suuronen *et al*. (1996a) y Tschernij & Suuronen (2002) observaron nadar al bacalao del Báltico frente a una red de arrastre de fondo hasta que su fatiga, después

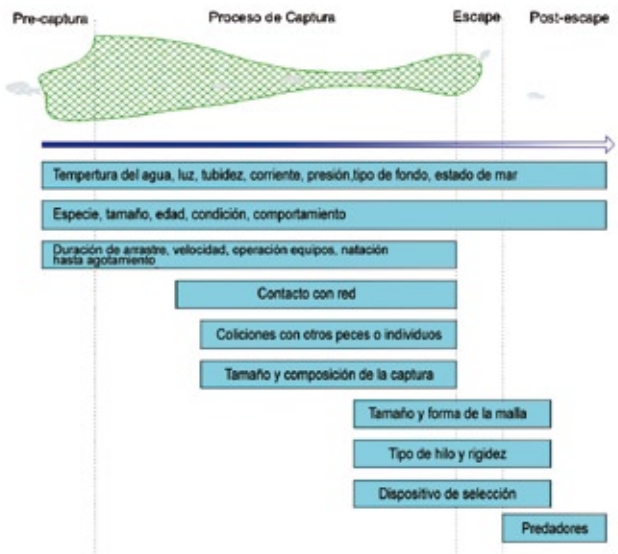
Pre-captura
Proceso de Captura
Escape
Post-escape
Tempertura del agua, luz, tubidez, corriente, presión,tipo de fondo, estado de mar
Especie, tamaño, edad, condición, comportamiento
Duración de arrastre, velocidad, operación equipos, natación hasta agotamiento
Contacto con red
Coliciones con otros peces o individuos
Tamaño y composición de la captura
Tamaño y forma de la malla
Tipo de hilo y rigidez
Dispositivo de selección
Predadores

Figura 21. Descripción esquemática de los factores potenciales que pueden afectar el comportamiento, resistencia, stress y daño de los peces, durante el proceso de captura y escape. Los efectos de estos factores pueden ser acumulativos. Modificado de Suuronen (2005).

de lo cual los peces cambiaron su orientación y fueron alcanzados por la red. Por su parte, Soldal *et al*. (1993) observaron que el eglefino y el bacalao sobreviven al agotamiento de natación y a la fatiga muscular en experimentos en estanques. De todos modos, existe muy poca evidencia científica directa sobre esta materia. Es probable que la velocidad de arrastre y la duración del lance también tengan un efecto sobre la capacidad de natación y el escape, y por lo tanto, en la mortalidad. Las interacciones entre la velocidad de arrastre, la fatiga, la temperatura del agua, el proceso de escape, las lesiones y la supervivencia es probable que sean muy complejos (Suuronen, 2005).

f. Otros factores: Son muy diversos los factores que también pueden estar asociados a la mortalidad y sobrevivencia post-escape, pero aún existe muy poca evidencia para afirmar sus efectos. Entre otros, el volumen de captura, el estado del mar (Wileman *et al*., 1999), la temperatura del agua (He & Wardle, 1988; Özbilgin & Wardle, 2002), la hora y la luminosidad (Suuronen *et al*., 1995; Olla *et al*., 1997), el sexo del pez y su estado de madurez (Wileman *et al*., 1999), las relaciones predador-presa (Broadhurst, 1998; Ryer, 2002), entre otras.

5. REFERENCIAS

Alexander, R.M. 1993. Buoyancy. In: The Physiology of Fishes. Evans, D.H. (Ed.). CRC Press, USA, 580 pp.

Arkley, K. 1990. Fishing trials to evaluate the use of square mesh selector panels fitted to *Nephrops* trawls MFV Heather Sprig (BCK 181), SFIA, Seafish Report, 383.

Arkley, K. & G. Dunlin. 2003. Improving the selectivity of towed fishing gears. Seafish Marine Technology. 56 pp.

Armstrong, M., R. Briggs & D. Rihan. 1998. A study of optimum positioning of square-mesh escape panels in Irish Sea *Nephrops* trawls. Fish. Res., 34: 179-189.

Aydin, C. & Z. Tosunoglu. 2010. Selectivity of diamond, square and hexagonal mesh codends for Atlantic horse mackerel *Trachurus trachurus*, European hake *Merluccius merluccius*, and greater forkbeard *Phycis blennoides* in the eastern Mediterranean. J. Appl. Ichthyol., 26: 71-77.

Bahamon, N., F. Sardà & P. Suuronen. 2006. Improvement of trawl selectivity in the NW Mediterranean demersal fishery by using a 40 mm square mesh codend. Fish. Res., 81(1): 15-25.

Bahamon, N., F. Sardà & P. Suuronen. 2007a. Selectivity of flexible size-sorting grid in Mediterranean multispecies trawl fishery. Fish. Sci., 73(6): 1231-1240.

Bahamon, N., F. Sardà & P. Suuronen. 2007b. Potential benefits from improved selectivity in the northwest Mediterranean multispecies trawl fishery. ICES J. Mar. Sci., 64(4): 757-760.

Bell, G.R. & J.W. Bagshaw. 1985. Observations of the fate of experimentally induced wounds on adult Chinook salmon in sea water. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., 1369: 1-53.

Beutel, D., L. Skrobe & K. Castro. 2006. Bycatch reduction in the directed eglefino bottom trawl fishery. URI Fish. Center Tech. Rep., 01-06: 39 pp.

Bjordal, A. 2005. Uso de medidas técnicas en la pesca responsable: Regulación de artes de pesca. En: Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación. FAO Doc. Tec. Pesca Nº 424: 19-44.

Bohl, H. 1980. Selection of cod by bottom trawl codends in the central Baltic (German experiments 1978). ICES CM 1980/B:8.

Breen, M., 2004. Investigating mortality of fish escaping from towed fishing gears-a critical analysis. PhD thesis. University of Aberdeen.

Breen, M., J. Dyson, F.G. O'Neill, E. Jones & M. Haigh. 2004. Swimming endurance of eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) at prolonged and sustained swimming speeds and its role in their capture by towed fishing gears. ICES J. Mar. Sci., 61(7): 1071-1079.

Briggs, R. 1992. An assessment of nets with a square mesh panel as a whiting conservation tool in the Irish Sea *Nephrops* fishery. Fish. Res., 13:133-152.

Broadhurst, M.K. 1998. Bottlenose dolphins, *Tursiops truncates*, removing by-catch from prawn-trawl codends during fishing in New South Wales, Australia. Mar. Fish. Rev., 60(3): 9-14.

Broadhurst, M.K. 2000. Modifications to reduce bycatch in prawn trawls: a review and framework for development. Rev. Fish Biol. Fish., 10(1): 27-60.

Broadhurst, M.K., S.J. Kennelly & G. O'Doherty. 1996. Effects of square-mesh panels in codends and of haulback-delay on bycatch reduction in the oceanic prawn-trawl fishery of New South Wales, Australia. Fish. Bull., 94: 412-422.

Broadhurst, M.K., S. Kennelly & S. Eayrs. 1999. Flow-related effects in prawn-trawl codends: potential for increasing the escape of unwanted fish through square-mesh panels Fish. Bull., 97: 1-8.

Broadhurst, M.K., S.J. Kennelly & C.A. Gray. 2002. Optimal positioning and design of behavioural-type bycatch reduction devices (BRDs) involving square-mesh panels in penaeid prawn-trawl codends. Mar. Freshw. Res., 53: 813-823.

Broadhurst, M.K., R.B. Millar, M.E.L. Wooden & W.G. Macbeth. 2006a. Optimising codend configuration in a multispecies demersal trawl fishery. Fish. Manag. Ecol., 13(2): 81-92.

Bullock, A.M. & R.J. Roberts. 1980. Inhibition of epidermal migration in the skin of rainbow trout Salmo gairdneri Richardson in the presence of achromogenic *Aeromonas salmonicida*. J. Fish Dis., 3: 517-524.

Bullough, L.W., I.R. Napier, C.H. Laurenson, D. Riley, R.J. Fryer, R.S.T. Ferro & R.J. Kynoch. 2007. A year-long trial of a square mesh panel in a commercial demersal trawl. Fish. Res., 83(1): 105-112.

Campos, A., P. Fonseca & V. Henriques. 2003. Size selectivity for four fish species of the deep groundfish assemblage off the Portuguese southwest coast: evidence of mesh size, mesh configuration and cod end catch effects. Fish. Res., 63(2): 213-233.

Catchpole, T.L. & A.S. Revill. 2008. Gear technology in *Nephrops* trawl fisheries. Rev. Fish Biol. Fish., 18(1): 17-31.

Chen C, K. Matuda & M. Honda. 1991. Comparison of the mesh selectivity of diamond and square-mesh codend with a model trawl net in an outdoor water tank. Nippon Suisan Gakk., 57: 1313-1319.

Chosid, D.M, M.V. Pol, M. Szymanski, L. Ribas & T. Moth-Poulsen. 2008. Diel variation within the species selective "Topless" trawl net. J. Ocean Tech., 3(2): 31-58.

Christian, P. & D. Harrington. 1987. Loggerhead turtle, finfish and shrimp retention studies on four excluder devices (TEDs). In: Proceedings of the Nongame and Endangered Wildlife Symposium, 8–10 September 1987. Georgia DNR, Social Circle, GA: 114-127.

Cochrane, K. 2005. Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y aplicación. FAO Doc. Tec. Pesca Nº 424.

Copland, J.W. & L.G. Willoughby. 1982. The pathology of Saprolegnia infections of *Anguilla anguilla* L. elvers. J. Fish Dis., 5: 421-428.

Dahm, E., C. Metin & H. Hoşsucu. 1995. On the effect of square meshes on fishes with irregular body shape (in German). Inf. Fischwirtsch., 42: 197-201.

Dahm, E., H. Wienbeck, C.W. West, J.W. Valdemarsen & F.G. O'Neill. 2002. On the influence of towing speed and gear size on the selective properties of bottom trawls. Fish. Res., 55: 103-119.

DeAlteris, J.T. & D.M. Reifsteck. 1993. Escapement and survival of fish from the codend of a demersal trawl. ICES Mar. Sci. Symp., 196: 128-131.

Douglas, R.H. & C.W. Hawryshyn. 1990. Behavioural studies of fish vision: an analysis of visual capabilities. In: The visual system of fish. Douglas R.H. & B.A. Mustafa (Eds.). Djamgoz. Chapman and Hall: 373-418.

Dunlin, G. 1998. Evaluation of bycatch reduction devices in UK Nephrops fisheries: use of separator trawls. Seafish Report SR522. Sea Fish Industry Authority, Hull, England.

Efanov, S.F. 1981. Herring in the Gulf of Riga: the problem of escapement and mechanical impact of the trawl. ICES CM 1981/J:7. 16 pp.

Efanov, S.F., I.G. Istomin & A.A. Delmatov. 1987. Influence of the form of fish body and mesh on selective properties of trawls. ICES C. M. B:13, Fish Capture Committee. 22 pp.

Ehrhardt, N., R. Ercoli, J. García, J. Bartozzetti & A. Izzo. 1996. Influencia de la cantidad de captura en la selectividad de mallas diamante y cuadrada en redes de arrastre para la merluza común (*Merluccius hubbsi*) e implicancias sobre el potencial de descarte. Rev. Invest. Des. Pesq. (Mar del Plata), 10: 31-43.

Engås, A., & O.R. Godø. 1989. The effect of different sweep lengths on the length composition of bottom-sampling trawl catches. ICES J. Mar Sci., 45: 263-268.

Engås, A., B. Isaksen & A.V. Soldal. 1990. Simulated gear injuries on cod and eglefino. Working paper presented at the ICES Fishing Technology and Fish Behaviour Working Group (FTFB) meeting, Rostock. 9 pp.

Engås, A., T. Jørgensen & C.W. West. 1998. A species selective trawl for demersal gadoid fisheries. ICES J. Mar. Sci., 55: 835-845.

Ercoli R., J. García, L. Salvini, A. Izzo & J. Bartozzetti. 1997. Manual del dispositivo de selectividad de langostino con doble grilla DISELA II. INIDEP, Inf. Téc. Int.: 1-7.

Erickson, D.L., J. Perez-Comas, E. Pikitch & J. Wallace. 1996. Effects of catch size and codend type on the escapement of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) from pelagic trawls. Fish. Res., 28: 179-196.

Fay, R.R. & A.N. Popper. 1980. Structure and function in teleost auditory systems. In: Comparative studies of hearing in vertebrates. Popper A.N. & R.R. Fay (Eds.). Springer-Verlag, New York, 3-42.

Ferro, R.S.T. & F.G. O'Neill. 1994. An overview of the characteristics of twines and netting that may change codend selectivity. ICES C.M. 1994/B:35.

Ferro, R.S.T., H. Özbilgin & M. Breen. 2008. The potential for optimizing yield from a eglefino trawl fishery using seasonal changes in selectivity, population structure and fish condition. Fish. Res., 94 (2): 151-159.

Fonseca, P., A. Campos, B. Mendes & R. Larsen. 2005. Potential use of a Nordmøre grid for bycatch reduction in a Portuguese bottom-trawl multispecies fishery. Fish. Res., 73(1-2): 49-66.

Fonseca, P., A. Campos & R.B. Millar. 2007. Codend selection in the deep-water crustacean trawl fishery in Portuguese southern waters. Fish. Res., 85(1-2): 49-60.

Fonteyne, R. & R. M'Rabet. 1992. Selectivity experiments on sole with diamond and square mesh cod-ends in the Belgian coastal beam trawl fishery. Fish. Res., 13 (3): 221-233.

Foster, J.J., C.M. Campbell & G.C.W. Sabin. 1981. The fish catching process relevant to trawl. In: Bottom trawl survey. Doubleday W.G. & D. Rivards (Eds.). Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 58: 229-246.

Gabr, M., Y. Fujimori, S. Shimizu & T. Miura. 2007a. Behaviour analysis of undersized fish escaping through square meshes and separating grids in simulated trawling experiment. Fish. Res., 85(1-2): 112-121.

Gabr, M., Y. Fujimori, S. Shimizu & T. Miura. 2007b. Trawling experiment in a circular water tank to assess the effects of towing speed, light intensity,and mesh shape on active escape of undersized fish. Fish. Sci., 73: 557-564.

Galbraith, R.D., R.J. Fryer & K.M.S. Maitland. 1994. Demersal pair trawl cod-end selectivity models. Fish. Res., 20: 13-27.

Gálvez, M., H. Rebolledo & S. Lillo. 1996. Análisis de la selectividad en la pesquería de merluza común en la zona centro-sur. FIP-IT/96-25. 100 pp.

Glass, C.W. 2000. Conservation of fish stocks through bycatch reduction: A review. Northeast. Nat., 7(4): 395-410.

Glass, C.W. & C.S. Wardle. 1989. Comparison of the reactions of fish to a trawl gear, at high and low light intensities. Fish. Res., 7: 249-266.

Glass, C.W. & C.S. Wardle. 1995a. A review of fish behaviour in relation to species separation and bycatch reduction in mixed fisheries. *In*: Solving Bycatch: Considerations for Today and Tomorrow. Univ. of Alaska Sea Grant College Program, Fairbanks, 243-350.

Glass, C.W. & C.S. Wardle. 1995b. Studies on the use of visual stimuli to control fish escape from codends. II. The effect of a black tunnel on the reaction behaviour of fish in otter trawl codends. Fish. Res., 23: 165-174.

Glass, C.W., C.S. Wardle & S.J. Gosden. 1993. A behavioural study of the principles underlying mesh penetration by fish. In: Wardle C.S. & C. Hollingworth (Eds.). ICES Marine Science Symposia. Fish Behavior in Relation to Fishing Operations, Bergen, Norway. Vol. 196, 92-97.

Glass, C.W., C.S. Wardle, S.J. Gosden & D.N. Racey. 1995. Studies on the use of visual stimuli to control fish escape from codends. I. Laboratory studies on the effect of a black tunnel on mesh penetration. Fish. Res., 23: 157-164.

Graham N. 2003. By-catch reduction in the brown shrimp (*Crangon crangon*) fisheries using a rigid sorting Nordmore grid (grate). Fish. Res., 59: 393-407.

Graham, N. & R.S.T. Ferro. 2004. The *Nephrops* Fisheries of the Northeast Atlantic and Mediterranean-A Review and Assessment of Fishing Gear Design. ICES Coop. Res. Rep. No 270.

Graham, N. & R.J. Fryer. 2006. Separation of fish from *Nephrops norvegicus* into a two-tier cod-end using a selection grid. Fish. Res., 82(1-3): 111-118.

Graham, N. & R.J. Kynoch. 2001. Square mesh panels in demersal trawls: some data on eglefino selectivity in relation to mesh size and position. Fish. Res., 49: 207-218.

Graham, N., R.J. Kynoch & R.J. Fryer. 2003. Square mesh panels in demersal trawls: further data relating eglefino and whiting selectivity to panel position. Fish. Res., 62: 361-375.

Graham, N., E.G. Jones & D.G. Reid. 2004. Review of technological advances for the study of fish behaviour in relation to demersal fishing trawls. ICES J. Mar. Sci., 61: 1036-1043.

Graham, K.J., M.K. Broadhurst & R.B. Millar. 2009. Effects of codend circumference and twine diameter on selection in south-eastern Australian fish trawls. Fish. Res., 95 (2-3): 341-349.

Grimaldo, E., R.B. Larsen & R. Holst. 2007. Exit Windows as an alternative selective system for the Barents Sea demersal fishery for cod and eglefino. Fish. Res., 85(3): 309-319.

Grimaldo, E., M. Sistiaga & R.B. Larsen. 2008. Evaluation of codends with sorting grids, exit windows, and diamond meshes: Size selection and fish behavior Fish. Res., 91(2-3): 271-280.

Grimaldo, E., R.B. Larsen, M. Sistiaga, N. Madsen & M. Breen. 2009. Selectivity and escape percentages during three phases of the towing process for codends fitted with different selection systems. Fish. Res., 95(2-3): 198-205.

Guijarro, B. & E. Massutí. 2006. Selectivity of diamond- and square-mesh codends in the deepwater crustacean trawl fishery off the Balearic Islands (western Mediterranean). ICES J. Mar. Sci., 63(1): 52-67.

Halliday, R.G., C.G. Cooper, P. Fanning, W.M. Hickey & P. Gagnon. 1999. Size selection of Atlantic cod, eglefino and pollock (saithe) by otter trawls with square and diamond mesh cod-ends of 130–155 mm mesh size. Fish. Res., 41(3): 255-271.

Hamley, J.M. 1975. Review of Gill-net selectivity. J. Fish. Res. Board Can., 32: 1943-1969.

Harden-Jones, F.R. 1963. The reaction of fish to moving backgrounds. J. Exp. Biol., 40: 437-440.

Hawkins, A.D. 1973. The sensitivity of fish sounds. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 11: 291-340.

He, P. 1993. Swimming performance of marine fish in relation to fishing gears. In: Wardle, C.S., Hollingworth, C.E. (Eds.), Fish Behaviour in Relation to Fishing Operations. ICES Mar. Sci. Symp., 196: 183-189.

He, P. 2005. Design and test of a high opening raised footrope trawl for eglefino and pollack for the inshore Gulf of Maine. Progress report submitted to the Northeast Consortium. University of New Hampshire, Durham, NH. UNH-FISH-REP-2005-017. 12 pp.

He, P. 2007. Selectivity of large mesh trawl codends in the Gulf of Maine. I. Comparison of square and diamond mesh. Fish. Res., 83: 44-59.

He, P. & C.S. Wardle. 1988. Endurance at intermediate swimming speeds of Atlantic mackerel, *Scomber scombrus* L., herring, *Clupea harengus* L., and saithe, *Pollachius virens* L. J. Fish Biol., 33: 348-360.

He, P., D. Goethel & T. Smith. 2007. Design and test of a topless shrimp trawl to reduce pelagic fish bycatch in the Gulf of Maine pink shrimp fishery. J. Northw. Atl. Fish. Sci., 38: 13-21.

Herrmann, B. 2005. Effect of catch size and shape on the selectivity of diamond mesh codends. II. Theoretical study of eglefino selection. Fish. Res., 71: 15-26.

Herrmann B. & F.G. O'Neill. 2006. Theoretical study of the influence of twine thickness on eglefino selectivity in diamond mesh cod-ends. Fish. Res., 80: 221–229.

Herrmann, B., D. Priour & L.A. Krag. 2006. Theoretical study of the effect of round straps on the selectivity in a diamond mesh cod-end. Fish. Res., 80: 148-157.

Herrmann, B., D. Priour & L.A. Krag. 2007. Simulation-based study of the combined effect on cod-end size selection of turning meshes by 90° and reducing the number of meshes in the circumference for round fish. Fish. Res., 84(2): 222-232.

Hobson, E.S., J.R. Chess & W.N. McFarland. 1981. Crepuscular and nocturnal activities of California nearshore fishes, with consideration of their scotopics visual pigments ant the photics environments. Fish. Bull., 79: 1-30.

Holden, M.J. 1971. Report of the ICES/ICNAF Working Groups on selectivity analysis. ICES Coop. Res. Rep. Ser. A25, pp. 144.

Hovgard, H. & H. Lassen. 2000. Manual on estimation of selectivity for gillnet and longline gears in abundance estimation. FAO Fish. Tech. Paper 397, 84 pp.

Ingólfsson, O.A. & T. Jørgensen. 2006. Escapement of gadoid fish beneath a commercial bottom trawl: Relevance to the overall trawl selectivity. Fish. Res., 79(3): 303-312.

Ingólfsson, O.A., A.V. Soldal & I. Huse. 2002. Mortality and injuries of eglefino, cod and saithe escaping through codend meshes and sorting grids. ICES CM 2002:V:32. 22 pp.

Isaksen B., J.W. Valdemarsen, R.B. Larsen & L. Karlsen. 1992. Reduction of fish by-cath in shrimp trawl using a rigid sorting grid in the aft belly. Fish. Res., 13: 335-352.

Isaksen, B. & J.W. Valdemarsen. 1986. Selectivity experiments with square mesh codends in bottom trawl. ICES CM 1986/B:28.

Jacobsen, J.A., B. Thomsen & B. Isaksen. 1992. Survival of saithe (*Pollachius virens*) escaping through trawl meshes. ICES CM 1992/B:29. 10 pp.

Jones, J.B. 1993. Net damage injuries to New Zealand hoki, *Macruronus novaezelandiae*. New Zeal. J. Mar. Fresh. Res., 27: 23-30.

Jones, E., C. Glass & H. Milliken. 2004. The reaction and behaviour of fish to visual components of fishing gears and the effect on catchability in survey and commercial situations. ICES WGFTFB Work. Pap., Gdynia, Poland.

Jones, E.G., K. Summerbell & F.G. O'Neill. 2008. The influence of towing speed and fish density on the behaviour of eglefino in a trawl cod-end. Fish. Res., 94(2): 166-174.

Jørgensen, T., O.A. Ingólfsson, N. Graham & B. Isaksen. 2006. Size selection of cod by rigid grids-Is anything gained compared to diamond mesh codends only?. Fish. Res., 79(3): 337-348.

Kim, Y.H. 1997. Modelling relative water flow and its sensitivity of fish in a towed fishing gear. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 33(3): 226-234.

Kim, Y.H. & C.S. Wardle. 1997. Modelling of swimming ability limits for marine fish. J. Kor. Fish. Soc., 30: 929-935.

Kim, Y.H. & C.S. Wardle. 1998. Modelling the visual stimulus of towed fishing gear. Fish. Res., 34(2): 165-177.

Kim, Y.H. & C.S. Wardle. 2003. Optomotor response and erratic response: quantitative analysis of fish reaction to towed fishing gears. Fish. Res., 60: 455-470.

Kim, Y.H. & C. Yang. 2005. Swimming characteristics of the black porgy *Acanthopagrus schlegeli* in the towing cod-end of a trawl. J. Fish. Sci. Tech., 8: 177-181.

Kim, Y.H., C.S. Wardle & Y.S. An. 2008. Herding and escaping responses of juvenile roundfish to square mesh window in a trawl cod end. Fish. Sci., 74 (1): 1-7.

Klust, G. 1982. Netting Materials for Fishing Gear, second ed. Fishing News Books Ltd., England, 175 pp.

Korotkov, V.K. 1984. Fish behavior in a catching zone and influence of bottom trawl rig elements on selectivity. ICES CM 1984/B:15.

Krag, L.A., R.P. Frandsen & N. Madsen. 2008. Evaluation of a simple means to reduce discard in the Kattegat-Skagerrak *Nephrops* (*Nephrops norvegicus*) fishery: Commercial testing of different codends and square-mesh panels. Fish. Res., 91(2-3): 175-186.

Kvalsik K., O.A. Misund, A. Engås, K. Gamst, R. Holst, D. Galbraith & H. Vederhus. 2002. Size selection of large catches using sorting grid in pelagic mackerel trawl. Fish. Res., 59: 129-148.

Kvalsvik, K., I. Huse, O.A. Misund & K. Gamst. 2006. Grid selection in the North Sea industrial trawl fishery for Norway pout: Efficient size selection reduces bycatch. Fish. Res., 77(2): 248-263.

Kvamme, C. & B. Isaksen. 2004. Total selectivity of a commercial cod trawl with and without a grid mounted: grid and codend selectivity of north-east Artic cod. Fish. Res., 68: 305-318.

Kynoch, R.J., R.S.T. Ferro & G. Zuur. 1999. The effect on juvenile eglefino bycatch of changing codend thickness in EU trawl fisheries. Mar. Tech. Soc. J., 33(2): 61-72.

Larsen, R.B. & B. Isaksen. 1993. Size selectivity of rigid sorting grids in bottom trawls for Atlantic cod (*Gadus morhua*) and eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*). ICES Mar. Sci. Symp., 196: 178-182.

Lehman, K., J.W. Valdemarsen & F. Riget. 1993. Selectivity in shrimp trawl codends tested in a fishery in Greenland. ICES Mar. Sci. Symp., 196: 80-85.

Lehner, P.N. 1979. Handbook of Ethological Methods. Garland STPM Press: New York.

Lentonen, E., V. Tschernij & P. Suuronen. 1998. An improved method for studying survival of fish that escape through meshes of trawl codends. Fish. Res., 38: 303-306.

Lowry, N. 1995. The effect of twine size on bottom trawl codend selectivity. ICES CM 1995/B: 6.

Lowry, N. & J.H.B. Robertson. 1996. The effect of twine thickness on cod-end selectivity of trawls for eglefino in the North Sea. Fish. Res., 26: 353-363.

Lowry, N., G.I. Sangster & M. Breen. 1996. Codend selectivity and fish mortality. Final Report of the European Commission Study Contract No. 1994/005. Brussels, EC.

Lowry, N, D. Wileman & D. Ferro. 1998. Factors affecting the variability of cod-end selectivity. Fishing gear technology and fish behaviour working group meeting. La Coruña, Spain 1998.

Maartens, L., K. Gamst & P.M. Schneider. 2002. Size selection and release of juvenile monkfish *Lophius vomerinus* using rigid sorting grids. Fish. Res., 57: 75-88.

Macbeth, W.G., R.B. Millar, M.K. Broadhurst, C.W. Hewitt & M.E.L. Wooden. 2007. Intra-fleet variability in the size selectivity of a square-mesh trawl codend for school prawns (*Metapenaeus macleayi*). Fish. Res., 86(2-3): 92-98.

MacLennan, D. 1992. Fishing gear selectivity: an overview. Fish. Res., 13: 201-204.

Madsen, N. 2007. Selectivity of fishing gears used in the Baltic Sea cod fishery. Rev. Fish Biol. Fish., 17(4): 517-544.

Madsen, N. & R. Holst. 2002. Assessment of the cover effect in trawl codend selectivity experiments. Fish. Res., 56: 289-301.

Madsen, N. & D. Valentinsson. 2010. Use of selective devices in trawls to support recovery of the Kattegat cod stock: a review of experiments and experience. ICES J. Mar. Sci., 67: 2042-2050.

Madsen, N., T. Moth-Poulsen & N. Lowry. 1998. Selectivity experiments with window codends fished in the Baltic Sea cod (*Gadus morhua*) fishery. Fish. Res., 36: 1-14.

Madsen, N., T. Moth-Poulsen, R. Holst & D.A. Wileman. 1999. Selectivity experiments with escape windows in the North Sea *Nephrops* (*Nephrops norvegicus*) trawl fishery. Fish. Res., 42: 167-181.

Madsen, N., R. Holst & L. Foldager. 2002. Escape windows to improve the size selectivity in the Baltic cod trawl fishery. Fish. Res., 57: 223-235.

Madsen, N., V. Tschernij, K. Hansen & P.O. Larsson. 2006. Development and testing of a species-selective flatfish ottertrawl to reduce cod bycatches. Fish. Res., 78(2-3): 298-308.

Madsen, N., R. Skeide, M. Breen, L.A. Krag, I. Huse & A.V. Soldal. 2008. Selectivity in a trawl codend during haul-back operation-An overlooked phenomenon. Fish. Res., 91(2-3): 168-174.

Main, J. & G.I. Sangster. 1981. A study of the fish capture process in a bottom trawl by direct observations from a towed underwater vehicle. Scottish Fish. Res. Report, Nº 23.

Main J. & G.I. Sangster. 1982. A study of separating fish from *Nephrops norvegicus* in a bottom trawl, DAFS, MAFF, Scott. Fish. Res. Rep., 24.

Main, J. & G.I. Sangster. 1985. Trawling experiments with a two-level net to minimize the undersized gadoid bycatch in a *Nephrops* fishery. Fish. Res., 3: 131-145.

Main, J. & G.I. Sangster. 1990. An assessment of the scale damage to and survival rates of young fish escaping from the codend of a demersal trawl. Scott. Fish. Res. Rep., 46/90. 28 pp.

Main, J. & G.I. Sangster. 1991. A study of Eglefino (*Melanogrammus aeglefinus* (L)) behavior in diamond and square mesh cod-ends. Scottish Fish Working paper, 19: 8 pp.

Martin, P. & P. Bateson. 1986. Measuring Behaviour. Cambridge University Press: London.

Mellergaard, S. & O. Bagge. 1998. Fishing gear-induced skin ulcerations in Baltic cod, *Gadus morhua* L. J. Fish Dis., 21: 205-213.

Mendes, B., P. Fonseca & A. Campos. 2006. Relationships between opercula girth and total length of fish species caught in gillnet and trammel net selectivity surveys off the Portuguese coast. J. Appl. Ichthyol., 22: 209-213.

Millar, B.R. & R.J. Fryer. 1999. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks. Rev. Fish Biol. Fish., 9: 89-116.

Moderhak, W. & H. Wienbeck. 2003. Selective properties of 90° turned mesh cod-ends. ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour. Bergen, Norway.

O'Neill, F.G. & R.J. Kynoch. 1996. The effect of cover mesh size and codend catch size on codend selectivity. Fish. Res., 28: 291-303.

O'Neill, F.G., S.J. McKay, J.N. Ward, A. Strickland, R.J. Kynoch & A. Zuur. 2003. An investigation of the relationship between sea state induced vessel motion and cod-end selection. Fish. Res., 60: 107-130.

O'Neill, F.G., L.H. Knudsen, D.A. Wileman & S.J. McKay. 2005. Cod-end drag as a function of catch size and towing speed. Fish. Res., 72: 163-171.

O'Neill, F.G, R.J. Kynoch & R.J. Fryer. 2006. Square mesh panels in North Sea demersal trawls: separate estimates of panel and cod-end selectivity. Fish. Res., 78: 331-341.

O'Neill, F.G., N. Graham, R.J. Kynoch, R.S.T. Ferro, P.A. Kunzlik & R.J. Fryer. 2008. The effect of varying cod-end circumference, inserting a 'flexi-grid' or inserting a Bacoma type panel on the selectivity of North Sea eglefino and saithe. Fish. Res., 94(2): 175-183.

Olla, B.L., M.W. Davis & C.B. Schreck. 1997. Effects of simulated trawling on sablefish and walleye pollock: the role of light intensity, net velocity and towing duration. J. Fish Biol., 50: 1181-1194.

Olla, B.L., M.W. Davis & C. Rose. 2000. Differences in orientation and swimming of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in a trawl net under light and dark conditions: concordance between field and laboratory observations. Fish. Res., 44: 262-266.

Omoto, S., T. Tokai, M. Tanda, T. Nishikawa & K. Matuda. 1998. Comparison of selectivity curve between square-mesh and diamond-mesh codends by AIC. Nippon Suisan Gakk., 64: 447-452.

Ona, E. 1989. Fish behaviour and trawl geometry observed with a scanning net-sonde sonar. In: Proceeding World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessel Design. G. Fox and J. Huntington (Eds.). The New Foundland and Labrador Institute of Fisheries and Marine Technology: Canada: 412-416.

Ondines, F., E. Massutí, B. Guijarro & R. Mas. 2006. Diamond vs. square mesh codend in a multi-species trawl fishery of the western Mediterranean: Effects on catch composition, yield, size selectivity and discards. Aquat. Living Resour., 19(4): 329-338.

Özbilgin, H. 2002. Effect of temperature change on the maximum swimming speed of whiting, *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758). Turk. J. Zool., 26: 255-262.

Özbilgin, H. & C.W. Glass. 2004. Role of learning in mesh penetration behaviour of eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*). ICES J. Mar. Sci., 61: 1190-1194.

Özbilgin, H. & Z. Tosunoglu. 2003. Comparison of the selectivities of double and single codends. Fish. Res., 63: 143-147.

Özbilgin H. & C.S. Wardle. 2002. Effect of seasonal temperature changes on the escape behaviour of eglefino, *Melanogrammus aeglefinus*, from the codend. Fish. Res., 58: 323–331.

Özbilgin, H., Z. Tosunoglu, A. Tokaç & G. Metin. 2005a. Seasonal variation in trawl codend selectivity for annular sea bream (Diplodus annularis L., 1758). Turk. J. Vet. Anim. Sci., 29(4): 959-965.

Özbilgin, H., Z. Tosunoglu, C. Aydin, H. Kaykac & A. Tokaç. 2005b. Selectivity of standard, narrow and square mesh panel trawl codends for hake (*Merluccius merluccius*) and poor cod (*Trisopterus minutus capelanus*). Turk. J. Vet. Anim. Sci., 29(4): 967-973.

Özbilgin, H., R.S.T. Ferro, J.H.B. Robertson, G. Holtrop & R.J. Kynoch. 2006. Seasonal variation in trawl codend selection of northern North Sea eglefino. ICES J. Mar. Sci., 63(4): 737-748.

Özbilgin, H., Z. Tosunoglu, A. Tokaç & G. Metin. 2007. Seasonal variation in the trawl codend selectivity of picarel (*Spicare smaris*). ICES J. Mar. Sci., 64(8): 1569-1572.

Piasente, M., I.A. Knuckey, S. Eayrs & P.E. McShane. 2004. In situ examination of the behaviour of fish to response to demersal trawl nets in an Australian trawl fishery. Mar. Fresh. Res., 55: 825-835.

Pichot, G., G. Germain & D. Priour. 2009. On the experimental study of the flow around a fishing net. Eur. J. Mech. B/ Fluids, 28(1): 103-116.

Pikitch, E., D. Erickson, P. Suuronen, E. Lehtonen, G. Rose & C. Bublitz. 2002. Selectivity and mortality of walleye pollock escaping from the codend and intermediate (extension) section of a pelagic trawl. ICES CM 2002/V:15. 29 pp.

Polet, H. 2002. Selectivity experiments with sorting grids in the North Sea brown shrimp (*Crangon crangon*) fishery. Fish. Res., 54: 217-233.

Polet, H. & F. Redant. 1994. Selectivity experiments in the Belgian Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) fishery, ICES CM 1994/B:39.

Pope, J.A., A.R. Margetts, J.M. Hamley & E.F. Akyuz. 1975. Manuel of methods for fish stock assessment. Part III selectivity of fishing gear. FAO Fish. Tech. Pap. Nº 41.

Popper, A.N. & T.J. Carlson. 1998. Application of sound and other stimuli to control fish behaviour. Trans. Am. Fish. Soc., 127: 673-707.

Reeves, S.A., D.W. Armstrong, R.J. Fryer & K.A. Coull. 1992. The effect of mesh size, cod-end extension length and cod-end diameter on the selectivity of Scottish trawls and seines. ICES J. Mar. Sci., 49: 279-288.

Reis, E.G. & M.G. Pawson. 1992. Determination of gill-net selectivity for bass (*Dicentrarchus labrax* L.) using commercial catch data. Fish Res., 13: 173-187.

Reis, E.G. & M.G. Pawson. 1999. Fish morphology and estimating selectivity by gillnets. Fish. Res., 39: 263-273.

Revill, A.S., G. Dunlin & R. Holst. 2006. Selective properties of the cutaway trawl and several other commercial trawls used in the Farne Deeps North Sea *Nephrops* fishery. Fish. Res., 81(2-3): 268-275.

Revill, A.S., T.L. Catchpole & G. Dunlin. 2007. Recent work to improve the efficacy of square-mesh panels used in a North Sea *Nephrops norvegicus* directed fishery. Fish. Res., 85(3): 335-341.

Robertson, J.H.B. 1986. Design and construction of square mesh cod-ends. Scottish Fisheries Information Pamphlet Nº. 12. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland, Marine Laboratory, Aberdeen, UK. ISSN 03099105, 10 pp.

Robertson, J.H.B. 1989. The effect of trawl codend design on selection characteristics. In: Proceedings of the World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessels. C.M. Campbell. (Ed.). Marine Institute: St. John's, NF, Canada: 48-51.

Robertson, J.H.B. & R.S.T. Ferro. 1988. Mesh selection within the codend of trawls. The effect of narrowing the codend and shortening the extension. Scott. Fish. Res. Rep., 39.

Robertson, J. & A.M. Shanks. 1997. Experiments with rigid grids in the *Nephrops* and whitefish fisheries, Marine Laboratory, Aberdeen Report, 4/97.

Robertson, J.H.B. & P.A.M. Stewart. 1988. A comparison of size selection of eglefino and whiting by square and diamond mesh codends. J. Cons. Int. Expl. Mer., 44: 148-161.

Robinson, W.E., H.A. Carr & J. Harris. 1993. Juvenile bycatch and codend escape survivability in the Northeast US groundfish fishery-second year study. A report of the New England Aquarium to NOAA. NOAA Award Nº. NA26FD0039-01.

Rose, C.S. 1993. Behaviour of north pacific groundfish encountering trawls: applications to reduce bycatch. In: Solving Bycatch: Considerations for Today and Tomorrow. Alaska Sea Grant College Program Report No. 96-03. University of Alaska, Fairbanks, AK.

Ryer, C.H. 2002. Trawl stress and escapee vulnerability to predation in juvenile walleye pollock: Is there an unobserved bycatch of behaviourally impaired escapees? Mar. Ecol. Prog. Ser., 232: 269-279.

Ryer, C.H. & B.L. Olla. 2000. Avoidance of an approaching net by juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the laboratory: the influence of light intensity. Fish. Res., 45: 195-199.

Sakanari, J.A. & M. Moser. 1986. Lesion induction by the plerocercoid *Lacistorhynchus tenuis* (Cestoda) and wound healing in the striped bass, *Morone saxatilis* (Walbaum). J. Fish Biol., 28: 289-296.

Sala, A., D. Priour & B. Herrmann. 2006. Experimental and theoretical study of red mullet (*Mullus barbatus*) selectivity in codends of Mediterranean bottom trawl. Aquat. Living Resour., 19(4): 317-327.

Sala, A., A. Lucchetti & G. Buglioni. 2007. The influence of twine thickness on the size selectivity of polyamide codends in a Mediterranean bottom trawl. Fish. Res., 83(2-3): 192-203.

Sangster, G.I., K.M. Lehmann & M. Breen. 1996. Commercial fishing experiments to assess the survival of eglefino and whiting after escape from four sizes of diamond mesh codends. Fish. Res., 25: 323-346.

Santos, M.N., A. Canas, P.G. Lino & C.C. Monteiro. 2006. Length–girth relationships for 30 marine fish species. Fish. Res., 78: 368-373.

Sardà, F. & N. Bahamon. 2008. El uso de las mallas cuadradas y rejillas separadoras de pescado para mejorar la selectividad de la pesca de arrastre demersal: Ventajas e inconvenientes. Sci. Mar., 70(3): 347-353.

Sardà, F., B. Molí & F. Sardà-Palomera. 2004. Preservation of juvenile hake (*Merluccius merluccius* L.) in the western Mediterranean multispecies demersal trawl fishery by using sorting grids. Sci. Mar., 68: 435-444.

Sardà, F., N. Bahamon, F. Sardà-Palomera & B. Molí. 2005. Commercial testing of a sorting grid to reduce catches of juvenile hake (*Merluccius merluccius*) in the western Mediterranean demersal trawl fishery. Aquat. Living Resour., 18: 87-91.

Sardà, F., N. Bahamon, B. Molí & F. Sardà-Palomera. 2006. The use of a square mesh codend and sorting grids to reduce catches of young fish and improve sustainability in a multispecies bottom trawl fishery in the Mediterranean. Sci. Mar., 70(3): 347-353.

Sistiaga, M., E. Grimaldo & R.B. Larsen. 2008. Size selectivity patterns in the North-east Arctic cod and eglefino fishery with sorting grids of 55, 60, 70 and 80 mm. Fish. Res., 93(1-2): 195-203.

Soldal, A.V., B. Isaksen & A. Engås. 1993. Survival of gadoids that escape from demersal trawl. ICES Mar. Sci. Symp., 196: 122-127.

Soria, M., F. Gerlotto & P. Freon. 1993. Study of learning in response to trawl fishing. In: Wardle C.S. & C.E. Hollingworth (Eds.). Fish behaviour in relation to fishing operations. ICES Mar. Sci. Symp., 196: 17-20.

Steele, P., T.M. Bert, K.H. Johnston & S. Levett. 2002. Efficiency of bycatch reduction devices in small otter trawls used in the Florida shrimp fishery. Fish. Bull., 100: 338-350.

Stergiou, K.I. & V.S. Karpouzi. 2003. Length–girth relationships for several marine fishes. Fish. Res., 60: 161-168.

Stewart, P.A.M. & J.H.B. Robertson. 1985. Attachments to codends. Scott. Fish. Res. Rep., 33: 15 pp.

Suuronen, P. 1995. Conservation of young fish by management of trawl selectivity. Finish Fish. Res., 15: 97-116.

Suuronen, P. 2004. Stress, injury and mortality of fish associated with fishing processes: technical and operational solutions to improve survival, FAO Rep., 68 pp.

Suuronen, P. 2005. Mortality of fish escaping trawl gears, FAO Fish. Tech. Pap., 478. 72 pp.

Suuronen, P. & R.B. Millar. 1992. Size selectivity of diamond and square mesh codends in pelagic herring trawls: only small herring will notice the difference. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49: 2104-2117.

Suuronen, P., T. Turunen, M. Kiviniemi & J. Karjalainen. 1995. Survival of vendace (*Coregonus albula* L.) escaping from a trawl codend. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52(12): 2527-2533.

Suuronen, P., J.A. Perez-Comas, E. Lehtonen & V. Tschernij. 1996. Size-related mortality of herring (*Clupea harengus* L.) escaping through a rigid sorting grid and trawl codend meshes. ICES J. Mar. Sci., 53: 691-700.

Suuronen, P., E. Lehtonen & P. Jounela. 2005. Escape mortality of trawl-caught Baltic cod (*Gadus morhua*) – the effect of water temperature, fish size and codend catch. Fish. Res., 71: 151-163.

Suuronen, P., V. Tschernij, P. Jounela, D. Valentinsson & P.O. Larsson. 2007. Factors affecting rule compliance with mesh size regulations in the Baltic cod trawl fishery. ICES J. Mar. Sci., 64(8): 1603-1606.

Thomsen, B. 1993. Selective flatfish trawling. In: Wardle, C.S., Hollingworth, C.E. (Eds.), Fish Behaviour in Relation to Fishing Operations. ICES Mar. Sci. Symp., 196: 161-164.

Tokaç, A., H. Özbilgin & Z. Tosunoglu. 2004. Effect of PA and PE material on codend selectivity in Turkish bottom trawl. Fish. Res., 67: 317-327.

Tosunoglu, Z. 2007. Trawl codend design (44 mm diamond PE mesh) and the effect on selectivity for *Pagellus erythrinus* and *Pagellus acarne*, two species with different morphometrics. J. Appl. Ichthyol., 23(5): 578-582.

Tosunoglu, Z., C. Aydin & O. Ozaydin. 2008. Selectivity of a 50-mm diamond mesh knotless polyethylene codend for commercially important fish species in the Aegean Sea. J. Appl. Ichthyol., 24(3): 311-315.

Treschev, A.I., S.F. Efanov, S.E. Shevtsov & U.A Klavsons. 1975. Die verletzung und die überlebenschancen des Ostseeherings nach dem durchdringen durch die Maschen des Schleppnetzsteerts. Fischerei Forschung, 13: 55-59.

Tschernig, V. & R. Holst. 1999. Evidence of factors at vessel-level affecting codend selectivity in Baltic cod demersal fishery. ICES CM 1999/R:02.

Tschernij, V. & P. Suuronen. 2002. Improving trawl selectivity in the Baltic. Nordic Council of Ministers. Fisheries. TemaNord 2002, Nº. 512.

Tschernij, V., P.O. Larsson, P. Suuronen & R. Holst. 1996. Swedish trials in the Baltic Sea to improve selectivity in demersal trawls. ICES C.M., B25.

Valdemarsen, J.W. & P. Suuronen. 2003. Modifying fishing gear to achieve ecosystem objectives. In: Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. Sinclair M. & G. Valdimarsson. (Eds.). FAO, Rome: 321-341.

Valentinsson, D. & M. Ulmestrand. 2008. Species-selective *Nephrops* trawling: Swedish grid experiments Fish. Res., 90(1-3): 109-117.

Van Marlen, B. 2003. Improving the selectivity of beam trawls in The Netherlands: The effect of large mesh top panels on the catch rates of sole, plaice, cod and whiting. Fish. Res., 63(2): 155-168.

Videler, J.J. 1993. Fish Swimming. Chapman and Hall, London. 260 pp.

Videler, J.J. & C.W. Wardle. 1991. Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance. Rev. Fish Fish., 1: 23-40.

Villaseñor, R. 1997. Dispositivos excluidores de tortugas marinas. FAO Doc. Téc. Pesca 372, 1-116.

Walsh, S.J. 1992. Size-dependent selection at the footgear of a groundfish survey trawl. N. Am. J. Fish. Man., 12: 625-633.

Walsh, S.J. & W.M. William. 1993. Behavioural reactions of demersal fish to bottom trawls at various light conditions. ICES Mar. Sci. Symp. 196: 68-76.

Walsh, S.J., C. Cooper & W. Hickey. 1989. Size selection of plaice by square and diamond mesh cod-ends. ICES CM 1989/B.22.

Walsh, S.J., R.B. Millar, C.G. Cooper & W.M. Hickey. 1992. Codend selection in American plaice: diamond versus square mesh. Fish. Res., 13 (3): 235-254.

Wardle, C.S. 1976. Fish reactions to fishing gears. Scottish Fish. Bull., 43: 16-20.

Wardle, C.S. 1977. Effects of size on swimming speed of fish. In: Scale effects of animal locomotion. Pedley, T.J. (Ed.). London and New York Academic Press, New York, pp 167-195.

Wardle, C.S. 1980. Effects of temperature on the maximum swimming speeds of fish. In: Environmental Physiology of Fishes, Ali, M.A. (Ed.). Series A, 35. NATO Advanced Study Institute: 519–532.

Wardle, C.S. 1983. Fish reaction to towed fishing gears. In: Experimental Biology at Sea. Macdonald, A.G. & I.G. Priede (Eds.). Academic Press, New York: 167-196.

Wardle, C.S. 1986. Fish Behaviour. In: Behaviour of Teleost Fishes. Pitcher T. (Ed.). Croom Helm, London: 609-641.

Wardle, C.S. 1989. Understanding fish behaviour can lead to more selective fishing gears. In: Proceedings of the World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessels. C.M. Campbell (Ed.). Marine Institute: St. John's, NF, Canada: 12-18.

Wardle, C.S. 1993. Fish behaviour and fishing gears. In: The Behaviour of Teleost Fishes, 2nd Edition. Pitcher, T.J. (Ed.). Fish and Fisheries Series 7. Chapman & Hall, London: 609-643.

Wardle, C.S. & P. He. 1988. Burst swimming speeds of mackerel, *Scomber scombrus*. J. Fish Biol., 32: 471-478.

Watson, J.W. 1989. Fish behaviour and trawl design: Potential for selective trawl development. In: Proceedings of the World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessels. C.M. Campbell (Ed.). Marine Institute: St. John's, NF, Canada: 25-29.

Webb, P.W. 1975. Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 190, 159 pp.

Wileman, D.A., R. Ferro, R. Fonteyne & R.B. Millar. 1996. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. ICES Coop. Res. Rep., 215.

Wileman, D.A., G.I. Sangster, M. Breen, M. Ulmestrand, A.V. Soldal & R.R. Harris. 1999. Roundfish and Nephrops survival after escape from commercial fishing gear. Final report. EC Contract FAIR-CT95-0753. Brussels, EC.

Winger, P.D., P. He & S.J. Walsh. 2000. Factors affecting the swimming endurance and catchability of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 57: 1200-1207.

Winger, P.D., S.J. Walsh, P. He & J.A. Brown. 2004. Simulating trawl herding in flatfish: the role of fish length in behaviour and swimming characteristics. ICES J. Mar. Sci., 61: 1179-1185.

Yanase, K., S. Eayrs & T. Arimoto. 2007. Influence of water temperature and fish length on the maximum swimming speed of sand flathead, *Platycephalus bassensis*: Implications for trawl selectivity. Fish. Res., 84 (2): 180-188.